



Bilan des effets potentiels des champs électromagnétiques générés par les câbles électriques sous marins associés au développement de parcs éoliens offshore sur les organismes marins

Cet article a été traduit par la Commission Particulière du Débat Public sur les éoliennes en mer en Normandie (du 15 novembre 2019 au 19 août 2020).

Il est mis à la disposition du public sur le site : normandie.debatpublic.fr

Article original :

Taormina, Bastien & Bald, Juan & Want, Andrew & Thouzeau, Gérard & Lejart, Morgane & Desroy, Nicolas & Carlier, Antoine. (2018). A review of potential impacts of submarine power cables on the marine environment: Knowledge gaps, recommendations and future directions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 96. 380-391. [10.1016/j.rser.2018.07.026](https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.026).

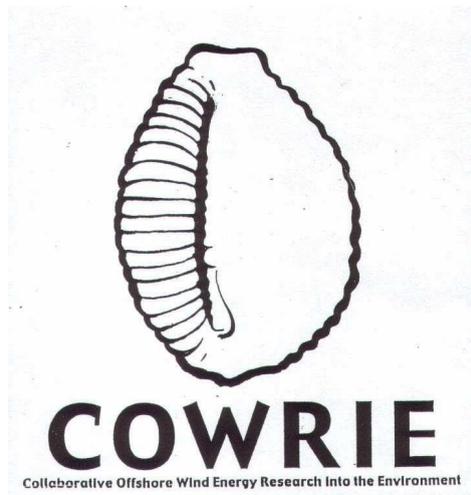
Vous pouvez retrouver le texte original et les annexes dans la bibliothèque du débat.

Bilan des effets potentiels des champs électromagnétiques générés par les câbles électriques sous marins associés au développement de parcs éoliens offshore sur les organismes marins

RAPPORT FINAL

Préparé par :

Gill, A.B., Gloyne-Phillips, I., Neal, K.J. & Kimber, J.A. Juillet 2005



Ce rapport a été commandé par COWRIE

Dr Andrew B. Gill
Institut de l'eau et de
l'environnement Université de
Cranfield
Silsoe
Bedfordshire, MK45 4DT

Tél : 44 (0)1525 863334
Fax : 44 (0)1525 863344
<http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/iw>
[e/ a.b.gill@cranfield.ac.uk](mailto:a.b.gill@cranfield.ac.uk)
CU@S ref: DB-1106-ABG

Dr Ian Gloyne-Phillips
Centre for Marine and Coastal Studies Ltd
Cammell Lairds Waterfront Park
Campbeltown Road
Birkenhead,
Merseyside CH41 9HP

Tél : 44 (0)151 650 2275
Fax : 44 (0)151 650 2274

[www.cmacsltd.co.](http://www.cmacsltd.co.uk)
[uk](http://www.cmacsltd.co.uk)
[info@cmacsltd.co.](mailto:info@cmacsltd.co.uk)
[uk](http://www.cmacsltd.co.uk) CMACS réf :
J3021

1 Résumé

La revue COWRIE 1.5 Electromagnetic Fields Review examine spécifiquement les effets potentiels des champs électromagnétiques générés par les câbles électriques sous-marins associés aux développements de parcs éoliens offshore sur les organismes marins sensibles aux champs électriques et magnétiques. Cette étude a été menée conjointement par le Centre for Marine and Coastal Studies Ltd (CMACS) et l'Institut de l'eau et de l'environnement de l'université de Cranfield à Silsoe (CU@S). Des contributions supplémentaires ont été apportées par ECONNECT Ltd et le Centre for Intelligent Monitoring Systems (CIMS) de l'université de Liverpool.

Tout au long du projet, il y a eu une certaine confusion sur le terme champ électromagnétique et son acronyme actuel, EMF, ce qui a entraîné des incohérences et des erreurs dans la documentation et la discussion. Nous suggérons ici un ensemble d'étiquettes non ambiguës basées sur la nomenclature électrique standard relative aux différentes composantes d'un champ électromagnétique (CEM) pour plus de clarté dans toute publication ou communication future.

Les résultats des travaux de la phase 1 de COWRIE ont démontré que les CEM émis par les câbles offshore à courant alternatif standard de l'industrie avaient une composante de champ magnétique (B) et une composante de champ électrique induit (iE). Ces composantes de CEM ont été évaluées comme étant dans la plage de détection des espèces aquatiques sensibles aux CEM, mais on ne sait pas si elles pourraient avoir un impact potentiel. Il a toutefois été noté qu'un certain nombre d'études de surveillance des parcs éoliens existants étaient en cours et que celles-ci pourraient aider à déterminer l'impact potentiel à l'avenir. En outre, en 2003, de nouvelles autorisations de développement ont été délivrées pour trois zones stratégiques de la zone côtière anglaise/galloise/écossaise.

À la lumière des études de suivi et des nouveaux plans de développement, le rapport présenté ici fournit un examen et une analyse complets de toutes les informations actuellement disponibles. L'objectif de cet examen était de permettre au COWRIE de donner la priorité aux recherches de la phase 2 concernant les CEM associés aux parcs éoliens offshore et aux espèces sensibles aux EM.

L'examen s'est d'abord concentré sur la collecte d'informations actualisées sur la biologie des espèces sensibles à l'EM et sur les informations provenant du secteur des parcs éoliens offshore, par le biais de documents publiés et de consultations. En outre, des informations provenant de la première conférence internationale consacrée à l'évaluation de l'impact environnemental des parcs éoliens offshore ont été intégrées. La phase de collecte d'informations a fourni les éléments nécessaires aux analyses documentaires spécifiques présentées dans le rapport et celles-ci ont servi de base à une série de recommandations spécifiques qui sont présentées pour les futures recherches COWRIE relatives aux CEM.

Un examen des documents sur les espèces électrosensibles a montré qu'il existe de nombreuses espèces de poissons dans les eaux britanniques qui sont potentiellement capables de répondre aux sources anthropiques de champ E. Cependant, on ne sait pas si l'interaction entre les poissons et le champ E artificiel aura des conséquences pour les poissons.

Les informations disponibles sur les espèces magnétosensibles sont limitées, mais elles suggèrent que les interactions potentielles entre les émissions EM, de l'ordre de associés aux câbles des parcs éoliens, et un certain nombre d'organismes côtiers britanniques pourraient se produire du niveau cellulaire au niveau comportemental.

La consultation et l'examen des informations fournies par l'industrie ont montré que des espèces sensibles à l'EM sont présentes sur un certain nombre de sites de développement ; cependant, le présent avis est que, bien qu'il puisse y avoir une interaction entre ces espèces et les câbles sous-marins utilisés, le résultat ne serait pas significatif. Il est évident que l'industrie essaie de prendre en considération l'interaction environnementale des CEM, mais elle est entravée par un

sérieux manque d'information et de compréhension. Les progrès récents dans la modélisation des câbles confirment que des CEM sont émis, mais l'intensité des émissions est spécifique à l'emplacement, au câble et à l'opération.

L'industrie des parcs éoliens offshore est un secteur nouveau et en plein développement qui doit utiliser de très grandes quantités de câbles électriques. Il existe cependant d'autres sources anthropiques de champs électriques et magnétiques qui sont présentes dans l'environnement marin depuis de nombreuses années. Si les sources de champs E et B existantes (par exemple les câbles et les pipelines offshore) sont plus limitées dans leur étendue spatiale, elles ont un potentiel variable pour produire des champs électriques et/ou magnétiques d'une ampleur comparable à ceux des parcs éoliens offshore.

Il ressort clairement de l'examen des documents de l'industrie que la question des effets électromagnétiques (champs B et iE) sur les espèces sensibles aux champs électriques et magnétiques n'a pas été abordée de manière cohérente et qu'il existe un certain nombre d'idées fausses importantes. La raison principale en est le manque d'orientation scientifique claire sur l'importance des effets sur les espèces réceptrices (s'il y en a).

Par conséquent, pour les champs B et E/iE associés aux parcs éoliens offshore, nous devons le faire :

- Identifier les espèces les plus susceptibles d'interagir avec les CEM. Cela variera selon les espèces en fonction de leurs habitudes, de leur état de conservation et de la nécessité de prendre en compte les différents stades de vie
- Déterminer définitivement si ces espèces seront affectées
- Évaluer l'importance potentielle de tout effet
- Examiner spécifiquement l'importance des développements de parcs éoliens offshore de plus grande taille (cycle 2)
- Tenir compte spécifiquement des impacts cumulatifs des développements adjacents, et pas seulement des parcs éoliens.

Pour toutes les espèces côtières britanniques sensibles aux CEM, il est évident que notre connaissance de leur interaction avec les CEM anthropiques est limitée. Afin d'améliorer la compréhension et d'aider le secteur des parcs éoliens offshore et les autorités de réglementation à gérer de manière appropriée les CEM dans l'environnement, nous présentons une liste prioritaire des espèces les plus susceptibles d'interagir avec les CEM générés par les parcs éoliens offshore. Les espèces choisies sont les espèces benthiques et celles qui ont des stades de vie spécifiques qui utilisent les eaux côtières.

En raison du manque de connaissances relatives aux émissions de CEM et à leur impact environnemental et du rythme rapide de développement des parcs éoliens offshore, il est évident qu'une meilleure compréhension de ce domaine est nécessaire de toute urgence. Nous envisageons un programme de recherche en deux étapes, dont la première se concentre sur l'Étude unique du mésocosme impliquant la délimitation d'une zone appropriée du fond marin dans laquelle on peut étudier la réponse d'une espèce benthique sensible aux EM (par exemple un élasmobranche) aux champs B contrôlés expérimentalement et aux champs électriques induits par un câble sous-marin.

1. Surveillance des espèces sensibles à l'électricité et au magnétisme dans les parcs éoliens individuels, probablement dans les conditions de la FEPA, en fonction des conditions propres au site.

Dans la première étape, l'étude 1 vise à déterminer définitivement s'il existe une réponse d'une espèce sensible à l'électromagnétisme aux CEM associés à un câble électrique standard de parc éolien offshore. Nous considérons qu'une telle étude est la priorité de la phase 2 de l'étude COWRIE.

Si l'étude du mésocosme et/ou la surveillance fournissent des données permettant de conclure qu'il existe des effets des CÉM sur les espèces réceptrices, l'étape 2 doit être mise en œuvre. L'étape 2 doit porter sur les études spécifiques suivantes :

2. Une étude collaborative visant à surveiller les réponses des élasmobranches aux émissions des câbles électriques sous-marins sur un ou plusieurs sites de parcs éoliens offshore au Royaume-Uni.
3. Étude/études en collaboration pour suivre les impacts potentiels sur les espèces magnétiquement sensibles et/ou les espèces électriquement sensibles non élasmobranches sur les sites des parcs éoliens offshore du Royaume-Uni.
4. Recherche spécifique visant à étudier l'importance des champs électriques et magnétiques pour les espèces de poissons du Royaume-Uni dans des environnements contrôlés et *in situ*.

Les exigences en matière de surveillance environnementale pour les parcs éoliens offshore autorisés sont déterminées par les conditions de licence de la FEPA. La licence de la FEPA énonce généralement les grands principes de la surveillance, mais laisse les détails de cette surveillance ouverts aux discussions entre le développeur (et ses consultants scientifiques) et les organismes statutaires. Pour faciliter ce processus, nous avons examiné la surveillance qui serait appropriée pour les parcs éoliens individuels à la lumière de l'examen entrepris. Nous nous sommes ensuite efforcés de suggérer une surveillance qui conviendrait à la fois pour les parcs éoliens autorisés, si une surveillance supplémentaire était invoquée, et pour les parcs éoliens prévus, si les futures conditions d'autorisation de la FEPA spécifiaient purement et simplement une telle surveillance. Nous avons inclus un aperçu des méthodes d'étude possibles pour les espèces sensibles à l'électricité et au magnétisme, y compris les avantages et les inconvénients. Enfin, nous proposons des conseils pour les études visant à surveiller les poissons sur les sites des parcs éoliens offshore en relation avec les champs E et B.

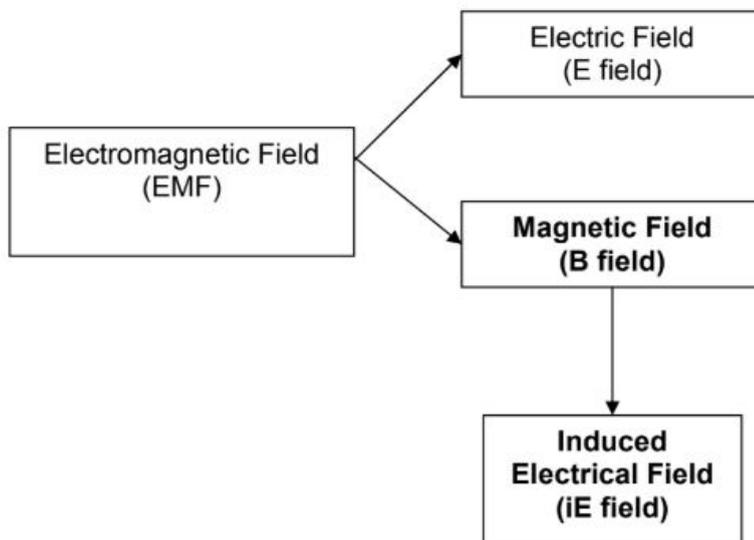
2 Terminologie du projet

2.1 Terminologie du champ électromagnétique

EMF (majuscules) est la nomenclature standard de la profession d'ingénieur en électricité et de l'industrie électrique pour le champ électromagnétique. Cependant, tout au long de ce projet, il y a eu une certaine confusion sur le terme EMF. Le champ électromagnétique a été confondu avec le champ électrique résultant (induit) et le fait qu'il existe deux champs fondamentalement différents (champs électrique et magnétique) a souvent été négligé. En outre, emf (lettres minuscules) est également un acronyme électrique fondamental, qui désigne la force électromotrice mesurée en volts. Cela a entraîné une confusion inutile lors de la communication avec les ingénieurs en systèmes électriques et autres.

Nous suggérons que, par souci de clarté, toute future publication ou communication du COWRIE utilise les CEM pour décrire uniquement le champ électromagnétique direct, conformément à la terminologie électrique standard. Les deux champs constitutifs des CEM doivent être clairement définis comme étant le champ E (électrique) et le champ B (magnétique), tandis que le champ électrique induit doit être étiqueté (champ iE).

Ce qui suit donne un aperçu très simplifié des champs associés aux câbles d'énergie sous-marins standard de l'industrie, en mettant en évidence les champs magnétiques et électriques induits qui présentent un intérêt pour la présente étude :



le champ E sera conservé dans les câbles standard de l'industrie

le champ B est détectable en dehors du câble...

...et induit un second champ électrique à l'extérieur du câble

2.2 Glossaire

A	- Ampère	
AC	- Courant alternatif	
AoL	- Ampoules de Lorenzini	
ASCOBANS	- Accord sur la conservation des petits cétacés en La mer Baltique et la mer du Nord	le
Champ B	- Champ magnétique	
CEFAS	- Centre pour les sciences de l'environnement, de la pêche et de l'aquaculture	
CIMS	Centre - pour les systèmes de surveillance intelligents, Université de Liverpool	de
CITES	- Contrôle du commerce des espèces menacées d'extinction	
CMACS	- Centre for Marine and Coastal Studies Ltd	
COWRIE	- Collaborative Offshore Wind Energy Research dans le Environnement	
CU@S	- Université de Cranfield à Silsoe	
DEFRA	- Département de l'environnement, de l'alimentation et des affaires rurales	
DTI	- Ministère du commerce et de l'industrie	
DC	- Courant continu	
DGPS	- Système de positionnement global différentiel	
Champ E	- Champ électrique	
CE	- Commission européenne	
EM	- Électromagnétique	
FEM	- Champ électromagnétique	
ES	- Déclaration environnementale	
FEPA	- Loi de 1985 sur la protection de l'alimentation et de l'environnement	
GIS	- Système d'information géographique	
GOV	- Engins de pêche Grande Ouverture Verticale	
HVDC	- Courant continu à haute tension	

Hz	- Hertz (fréquence)
CIEM	- Conseil international pour l'exploration des mers
iE	- Champ électrique induit
UICN	- Union internationale pour la conservation de la nature
kV	- kilovolt
$\mu\text{A}/\text{m}^2$	- micro-ampères par mètre carré
μT	- micro tesla
μV	- micro volt
$\mu\text{V}/\text{m}$	- micro-volt par mètre
$\mu\text{V}/\text{cm}$	- micro volt par centimètre
WCA	- Loi de 1981 sur la faune et la flore sauvages
UKCPC	- Comité britannique de protection des câbles

3 Contexte du projet

En 2002, COWRIE a identifié comme recherche prioritaire une évaluation des champs électromagnétiques (EM) générés par les câbles des parcs éoliens offshore et de leurs effets possibles sur les organismes qui sont sensibles à ces champs. Un consortium, dirigé par le Centre for Marine and Coastal Studies Ltd (CMACS), a été engagé pour mener une enquête de phase 1 sur les points suivants

- Le probable CEM émis par un câble électrique sous-marin.
- Une méthode suggérée pour mesurer les CEM *in situ*, qui pourrait être appliquée par les promoteurs de parcs éoliens ou dans de futurs projets.
- Orientations sur les mesures d'atténuation pour réduire les CEM.
- Examen des résultats pour la prochaine étape de l'étude des effets des CEM sur les espèces électrosensibles.

(pour plus de détails, voir :

http://www.thecrownestate.co.uk/1351_emf_research_report_04_05_06.pdf)

Les résultats des travaux de la phase 1 ont démontré que les CEM émis par les câbles offshore à courant alternatif standard de l'industrie avaient une composante de champ magnétique (B) et une composante de champ électrique induit (iE). Ces composantes de CEM ont été évaluées comme étant dans la plage de détection des espèces aquatiques sensibles aux CEM, mais on ne sait pas si cela pourrait avoir un impact potentiel. Il a toutefois été noté qu'un certain nombre d'études de surveillance des parcs éoliens existants étaient en cours et que celles-ci pourraient aider à déterminer l'impact potentiel à l'avenir. En outre, en 2003, de nouvelles autorisations de développement ont été délivrées pour trois zones stratégiques de la zone côtière anglaise/galloise/écossaise. Cette augmentation significative du développement dans des zones côtières spécifiques a de nouveau soulevé la question de savoir si les espèces électro- et/ou magnéto-réceptives seront affectées. Il est important de répondre à cette question car de nombreuses espèces connues pour être sensibles aux perturbations électromagnétiques sont actuellement préoccupantes sur le plan de la conservation ou sont vulnérables aux effets de l'activité humaine (voir Gill, 2005) et les promoteurs sont tenus d'évaluer leur impact sur ces espèces.

À la lumière des études de suivi et des nouveaux plans de développement, le rapport présenté ici fournit un examen et une analyse complets de toutes les informations actuellement disponibles. L'objectif de cet examen était de permettre au COWRIE de donner la priorité aux recherches de la phase 2 concernant les CEM associés aux parcs éoliens offshore et aux espèces sensibles aux EM.

3.1 Grandes lignes du programme de travail

Le projet a suivi une approche en deux étapes de collecte d'informations, suivie d'un examen et d'un rapport, comme indiqué ci-dessous :

Collecte d'informations

- Une mise à jour des informations de la phase 1 de COWRIE concernant les espèces sensibles à l'électricitéUn nouveau recueil d'informations relatives aux espèces magnétiquement sensibles
- Published and unpublished literature on CEM (y compris les consultations)
- Développement d'une base de données de la littérature publiée

Analyse documentaire et rapports

- Mise à jour de l'analyse documentaire de la phase 1 du projet COWRIE
- Évaluation de l'importance de toute interaction entre les parcs éoliens offshore et les espèces sensibles aux EM
- Identification des priorités pour la recherche future
- Suggestions pour la surveillance des parcs éoliens individuels

4 Partenaires du projet et responsabilités

Le projet a été mené conjointement par le Centre for Marine and Coastal Studies Ltd (CMACS) et l'Institute of Water and Environment, Cranfield University at Silsoe (CU@S). Le CMACS a entrepris une consultation avec les développeurs de parcs éoliens offshore et les partenaires industriels associés, suivie par la collecte, la synthèse et l'examen des informations obtenues et par une revue de la littérature industrielle publiée et non publiée sur les champs électromagnétiques (CEM). CU@S s'est concentré sur la collecte d'informations, la synthèse et l'examen de publications et de rapports universitaires sur les espèces sensibles aux champs électriques et magnétiques. Les deux partenaires ont travaillé ensemble à la synthèse de la collecte de données, au suivi et aux recommandations pour COWRIE 2.

Le projet a également bénéficié de la contribution d'ECONNECT Ltd et du Centre for Intelligent Monitoring Systems (CIMS) de l'université de Liverpool. ECONNECT Ltd a spécifiquement fourni une mise à jour sur les stratégies de câblage des parcs éoliens offshore britanniques, et le CIMS a fourni des mises à jour pour les aspects techniques de la phase 1 de l'étude COWRIE sur les CEM.

5 Rapport sur la conférence sur les parcs éoliens offshore

Les chercheurs scientifiques et les développeurs de Scandinavie ont réalisé et soutenu les seules études à ce jour sur les influences directes des CEM des câbles des parcs éoliens offshore sur l'écologie marine. Les résultats de ces recherches ont été présentés à la conférence "Offshore Wind Farms and the Environment, Horns Rev and Nysted" qui s'est tenue à Billund, au Danemark, les 21 et 22 septembre 2004. Il s'agissait de la première conférence au niveau mondial à examiner les parcs éoliens en mer et leur interaction avec l'environnement. La conférence a représenté un point de départ important pour l'examen du COWRIE 1.5.

Les deux principaux auteurs de la revue ont assisté à la conférence et ont présenté un poster intitulé "Ecological Significance of Electromagnetic Fields generated by the Offshore Wind Industry". Le poster était basé sur les résultats de la phase 1 de l'étude COWRIE. Dans le cadre du présent rapport, deux études principales d'intérêt ont été présentées lors de la conférence. La première portait sur les CEM et la migration des poissons et la seconde sur la colonisation des structures sous-marines du parc éolien par les espèces.

Champs électromagnétiques

Une étude danoise réalisée par Bio/consult as (2002) pour SEAS au parc éolien offshore de Vindeby a cité des preuves de la sensibilité de certains poissons osseux aux champs B. La conclusion était que les champs magnétiques autour des câbles peuvent être d'une magnitude suffisante pour affecter les poissons sensibles mais seulement jusqu'à un mètre du câble (alors que le champ était de 33,1 μ T), après quoi on prévoyait que le champ serait impossible à distinguer du champ terrestre. Ces conclusions sont basées sur une évaluation de bureau pour des câbles de 10 kV triphasés, 50 Hz AC avec un courant maximum dans chacune des trois phases du câble de 260 A.

Bio/consult a également mené une étude sur la réaction des poissons à la présence du câble électrique principal vers le rivage du parc éolien offshore de Nysted, dans le sud de la mer Baltique. L'étude n'a pris en compte que la composante magnétique des CEM. On a supposé que la composante électrique était contenue dans le blindage du câble et on n'a pas tenu compte des champs E induits. Le rapport sur l'état du projet (Hvidt *et al.* 2003) détaille l'étude des changements dans les populations de six espèces de poissons osseux autour du tracé du câble. L'étude a utilisé des engins de pêche passifs des deux côtés du câble et a été conçue pour tester si les poissons traversaient le câble. Les six espèces les plus abondantes ont été choisies pour l'analyse ; le hareng *Clupea harengus*, l'anguille commune *Anguilla anguilla*, le cabillaud de l'Atlantique *Gadus morhua*, la loquette *Zoarces viviparus*, le scorpion de mer à épines courtes *Myoxocephalus scorpius* et le flet *Platichthys flesus* représentant un mélange d'espèces de poissons migrateurs et non migrateurs. L'anguille commune a été soulignée comme étant particulièrement sensible aux CEM.

Les méthodes utilisées dans l'étude n'ont révélé aucun effet du câble sur les espèces étudiées. Cependant, Hvidt *et al.* (2003) ont exprimé des doutes sur les méthodes. Ils considèrent que les filets ont été utilisés à une trop grande distance du câble pour détecter si les CEM avaient repoussé ou attiré les poissons. En outre, les filets de chaque côté du câble étaient parallèles et auraient pu se faire de l'ombre. Néanmoins, aucune différence significative dans le nombre de poissons capturés n'a été constatée de part et d'autre du filet.

Étant donné le manque d'espèces électrosensibles dans la zone d'étude (Hvidt, *comm. pers.*), l'étude n'est pas utile pour évaluer l'importance des champs électriques induits ; cependant, malgré les difficultés méthodologiques reconnues, l'étude représente la première tentative directe de surveiller tout impact du champ électromagnétique sur les poissons sur le site d'un parc éolien.

Colonisation des structures

La colonisation des espèces dans les structures sous-marines du parc éolien a été bien illustrée par des séquences vidéo et une présentation des résultats par Bio/consult as. La principale importance dans le contexte des CEM est que l'activité accrue de la faune constitue une source potentielle de nourriture pour les prédateurs, dont certains sont sensibles au magnétisme, d'autres à l'électricité et d'autres encore aux deux. Cette association indirecte entre les espèces sensibles aux CEM et la disponibilité accrue de nourriture autour des structures des parcs éoliens offshore doit être examinée plus avant.

Résumé des résultats de la conférence

Le message général de la conférence était que les parcs éoliens offshore ont un impact sur la faune côtière, mais il reste à déterminer si ces impacts sont positifs ou négatifs ou neutres. En ce qui concerne les champs magnétiques, il y a eu très peu de preuves concluantes de leurs effets, s'il y en a, sur les espèces réceptrices et aucune considération des champs électriques induits associés aux câbles sous-marins utilisés par les parcs éoliens offshore.

6 Collation des informations disponibles et analyse documentaire - Biologie

6.1 Aperçu des sources d'information

Afin de déterminer l'état actuel des connaissances concernant l'importance des champs électriques et magnétiques pour les organismes récepteurs, une recherche approfondie a été

effectuée dans les bases de données des bibliothèques universitaires par l'intermédiaire de l'université de Cranfield. Les principales sources d'information étaient le Web of Knowledge (comprenant le Science Citation Index, le Social Sciences Citation Index, le Arts & Humanities Citation Index ; tous de 1981 à aujourd'hui), le Cambridge Abstracts (Oceanic Abstracts ; de 1960 à aujourd'hui), et Scirus (www.scirus.com - le moteur de recherche Internet le plus complet sur les sciences). Les bases de données ont été consultées pour toute information relative aux espèces aquatiques qui sont considérées comme sensibles ou susceptibles d'être sensibles aux champs électromagnétiques, c'est-à-dire soit au champ électrique, soit au champ magnétique, soit aux deux. Nous avons également pris en compte toute information reliant les parcs éoliens et les CEM, ainsi que d'autres sources d'émission (tant artificielles que naturelles). Un certain nombre de sources de données provenaient de l'extérieur du Royaume-Uni ; dans ces cas, nous avons interprété les informations dans le contexte des espèces des eaux côtières du Royaume-Uni, le cas échéant. Les informations obtenues ont été classées par domaine de base (voir tableau 1), puis les informations spécifiques relatives aux espèces électrosensibles et magnétosensibles ont été examinées séparément.

6.2 les espèces sensibles à l'électricité et/ou au magnétisme

Tableau 1. Résumé des articles et documents examinés, classés par grandes catégories de sujets. Les bibliographies complètes pour chaque catégorie se trouvent dans l'annexe spécifiée.

Subject			Number of sources	Appendix
Offshore wind farms	General effects		12	1a
	Specific organisms		3	1b
Other artificial e-sources	General effects		5	1c
	Specific organisms		4	1d
Chondrichthyans (Sharks, skates & rays)	Electroreception	General	16	2a
		Physiology	83	2b
		Behaviour	12	2c
	Magnetoreception	General	27	3a
		Physiology	23	3b
		Behaviour	4	3c
Other organisms	Electroreception	General	9	4a
		Physiology	3	4b
		Behaviour	2	4c
	Magnetoreception	General	39	5a
		Physiology	26	5b
		Behaviour	38	5c
Natural E field sources			10	6
Total			316	

Examen des espèces électrosensibles

6.2.1 Détection des champs électriques

Les champs électriques dans l'environnement marin sont directement émis soit par des processus biochimiques, physiologiques et neurologiques au sein d'un organisme, soit par des sources anthropiques. Les champs électriques induits peuvent également résulter de l'interaction entre l'organisme lui-même ou les eaux océaniques et les lignes de flux géomagnétiques. On sait que les organismes électrosensibles sont capables de détecter deux types de champ E : les champs E polaires localisés et les champs E uniformes à plus grande échelle.

Le principal groupe d'organismes connus pour être électro-réceptifs est constitué par les Elasmobranches et leurs parents (collectivement appelés Chondrichthyens ; voir tableau 2). Ils

possèdent des ampoules de Lorenzini (AoL) qui consistent en une série de pores à la surface de la peau, conduisant à des canaux d'environ 1 mm de diamètre et jusqu'à 20 cm de long (Murray 1974 ; Zakon 1986 ; Adair *et al* 1998 ; von der Emde 1998). Les canaux sont remplis d'une gelée conductrice de mucopolysaccharides, qui a une faible résistance similaire en magnitude à celle de l'eau de mer (25 à 30 ohms par cm ; 1974 ; Zakon 1986 ; Adair *et al* 1998 ; von der Emde 1998). À l'extrémité des canaux se trouvent des groupes d'ampoules (alvéoles avec des cellules réceptrices ampullaires situées sur leurs parois), qui permettent aux élasmobranches de détecter de très faibles gradients de tension (jusqu'à $0,5\mu\text{V}/\text{m} = 5\text{nV}/\text{cm}$) dans l'environnement qui les entoure (Kalmijn 1971 ; Murray 1974 ; Boord & Campbell 1997). Lors de la rencontre avec un champ polaire E, un élasmobranch peut localiser l'émission en se basant sur le potentiel de tension différentielle au niveau des pores en référence au potentiel interne du corps. Dans un champ E uniforme, la longueur et l'orientation différentes des canaux de l'AoL permettent à un élasmobranch de comparer la variation du gradient de tension.

Chez la plupart des requins, les pores sont uniformément répartis entre les surfaces dorsale et ventrale de la tête (Bodznick & Boord 1986 ; Tricas 2001). Chez les raies et les pocheteaux dorso-ventralement aplatis, le dessin des pores est concentré sur la surface ventrale, en particulier en association avec la bouche (Raschi 1986 ; Tricas 2001). Cela permet de localiser avec précision les champs bioélectriques polaires des proies enterrées et de s'assurer que la bouche du rayon est rapprochée de la proie (Raschi 1978 ; Bodznick & Boord 1986 ; Tricas 2001). La capacité à détecter les champs électriques commence aux stades embryonnaire et juvénile de la vie (Kaijura 2003) et est susceptible de varier tout au long de la vie d'un élasmobranch. Les preuves de changements de la sensibilité en fonction de l'âge et de la taille des individus ne sont pas concluantes pour les champs polaires E. Cependant, dans un champ électrique uniforme, le système AoL devient plus sensible chez les poissons de grande taille, car les espaces entre les pores s'élargissent et les canaux s'allongent (Raschi 1978 ; Tricas 2001).

Les autres espèces qui sont électrosensibles (voir tableau 2) ne possèdent pas d'électrorécepteurs spécialisés mais sont capables de détecter les gradients de tension induits associés au mouvement de l'eau et aux émissions géomagnétiques (voir section 6.4.1). Le mécanisme sensoriel réel de détection n'est pas encore bien compris. Il est probable que les champs E auxquels ces espèces réagissent sont associés à des mouvements de marée de pointe qui peuvent créer des champs de l'ordre de $8\text{-}25\mu\text{V}/\text{m}$ (Barber & Longuet-Higgins 1948 ; Pals *et al* 1982).

Les espèces qui possèdent des électrorécepteurs spécialisés détectent naturellement les émissions bioélectriques des proies, des congénères et des prédateurs/compétiteurs potentiels (ces derniers étant plus probablement pour les premiers stades de l'histoire de la vie). Le sens E est principalement utilisé à proximité des champs E dans la gamme détectable et les autres sens (comme l'ouïe ou l'odorat) sont utilisés à des distances de plus de 30 cm environ du champ E. Cela signifie que le E-sense est très bien réglé pour les dernières étapes de l'alimentation ou de la détection d'autres personnes. Des études expérimentales ont également montré que les espèces dotées d'un sens E réagissent aux sources artificielles de champs électriques. Il a été démontré que la réponse aux champs dipolaires DC est similaire à la réponse comportementale à l'émission de champs bioélectriques. Des études limitées ont jusqu'à présent déterminé que les champs E DC et AC basse fréquence (0,5 - 20Hz) sont ceux auxquels on répond le plus (Brown *et al.* 1974 ; New & Tricas 1998).

Les preuves des études sur les champs électriques

La recherche exhaustive d'informations dans le domaine public a révélé qu'il existe très peu d'études qui ont pris en compte les interactions entre les poissons électrosensibles et les sources anthropiques de champ E :

Marra (1989) a rapporté qu'un important câble de communication optique a été endommagé par la morsure d'élasmobranches (espèces de Carcharhinidés et *Pseudocarcharias kamoharai*). Le câble émettait deux formes de champs électriques. Le premier était un champ E induit de 50 Hz ($6,3\mu\text{V}/\text{m}$ à 1m) causé par un courant alternatif induit à travers l'alimentation

électrique du câble. Le second champ E ($1\mu\text{v/m}$ @ 0,1m) était induit par les requins traversant le champ magnétique émis par le câble. Les dommages causés par les morsures de poisson ont conduit à renforcer des sections du câble à des profondeurs où les espèces qui les ont mordues étaient les plus susceptibles de se trouver. Les tests comportementaux ultérieurs en laboratoire et en mer n'ont pas été concluants, mais le renforcement du câble a réduit l'incidence des morsures de requins qui endommagent le câble.

Poddubny (1967) - a observé que l'esturgeon électro-récepteur (*Acipenser gueldenstaedtii*) s'est éloigné des lignes aériennes terrestres à haute tension (110kV) traversant au-dessus de l'eau. L'esturgeon nageait également lentement près de l'endroit où les lignes se croisaient et nageait plus vite une fois qu'il les avait dépassées.

Gill & Taylor (2001) - preuves limitées en laboratoire que l'élaémobranchie benthique (*Scyliorhinus canicula*) évite les champs de DC E à des intensités d'émission similaires à celles prévues par les câbles AC des parcs éoliens offshore. Les mêmes poissons ont été attirés par les émissions de DC à des niveaux prévus pour émaner de leurs proies.

Walker (2001) a étudié spécifiquement l'interaction comportementale des requins et d'autres animaux marins avec les câbles d'alimentation en courant continu à haute tension et les électrodes traversant l'Australie et la Tasmanie. La conclusion de l'étude était qu'il n'y aurait aucun effet des câbles électriques et des électrodes sur les espèces considérées. Il a été mentionné que les effets sur les espèces benthiques devraient être déterminés, car elles sont plus susceptibles d'entrer en contact étroit avec tout CEM émis.

L'étude de Marra est tout à fait comparable aux résultats de COWRIE 1.0 qui a modélisé et mesuré des champs d'iE de $91\mu\text{v/m}$ émis par des câbles triphasés 50 Hz standard de l'industrie enterrés à 1m.

Tableau 2. Liste des espèces électrosensibles dans les eaux côtières du Royaume-Uni.

Espèces	Nom commun	Présence relative dans les eaux britanniques	Preuve de la réponse aux champs E
Elasmobranchii	Requins		
<i>Cetorhinus maximus</i>	Requin pèlerin	Commun	
<i>Galeorhinus galeus</i>	Tope	Commun	
<i>Lamna nasus</i>	Porbeagle	Commun	
<i>Mustelus asterias</i>	Chien courant étoilé	Commun	
<i>Scyliorhinus canicula</i>	Requin-taupe bleu	Commun	✓
<i>Squalus acanthias</i>	Aiguillat	Commun	
<i>Alopias vulpinus</i>	Batteuse à queue fine	Occasionnel	
<i>Chlamydoselachus anguineus</i>	Requin à collerette	Occasionnel	
<i>Dalatias licha</i>	Le requin-kite	Occasionnel	
<i>Isurus oxyrinchus</i>	Le requin-taupe bleu (Shortfin mako)	Occasionnel	
<i>Mustelus mustelus</i>	Chien lisse	Occasionnel	

<i>Prionace glauca</i>	Requin bleu	Occasionnel	✓
<i>Scyliorhinus stellaris</i>	Chien d'infirmier	Occasionnel	
<i>Centrophorus squamosus</i>	Le requin-taupe bleu	Rare	
<i>Centroscyllium fabricii</i>	Aiguillat noir	Rare	
<i>Deania calcea</i>	Chien de mer à bec d'oiseau	Rare	
<i>Echinorhinus brucus</i>	Requin ronce	Rare	
<i>Etmopterus spinax</i>	Requin-lanterne à ventre de velours	Rare	
<i>Galeus melastomus</i>	Requin à bouche noire	Rare	
<i>Heptranchias perlo</i>	Requin griset à nez pointu	Rare	
<i>Hexanchus griseus</i>	Requin griset	Rare	
<i>Oxynotus centrina</i>	Requin rugueux angulaire	Rare	
<i>Scymnodon obscurus</i>	Aiguillat commun à petite bouche	Rare	
<i>Scymnodon squamulosus</i>	Aiguillat de velours	Rare	
<i>Somniosus microcephalus</i>	Requin du Groenland	Rare	
<i>Sphyrna zygaena</i>	Le requin-marteau lisse	Rare	
<i>Squatina squatina</i>	Angelshark	Rare	
Elasmobranchii	Patins et raies		
<i>Amblyraja radiata</i>	Rayon étoilé	Commun	
<i>Raja clavata</i>	Raie épineuse	Commun	✓

Espèces	Nom commun	Présence relative dans les eaux britanniques	Preuve de la réponse aux champs E
<i>Dipturus nidarosiensis</i>	Patinoire norvégienne	Occasionnel	
<i>Leucoraja circularis</i>	Rayon de sable	Occasionnel	
<i>Leucoraja fullonica</i>	Rayon de galuchat	Occasionnel	
<i>Leucoraja naevus</i>	Coucou	Occasionnel	
<i>Raja brachyura</i>	Rayon blond	Occasionnel	
<i>Raja microcellata</i>	Rayon à petits yeux	Occasionnel	
<i>Raja montagui</i>	Rayon tacheté	Occasionnel	
<i>Raja undulata</i>	Rayon ondulé	Occasionnel	
<i>Amblyraja hyperborea</i>	Raie arctique	Rare	
<i>Bathyraja spinicauda</i>	Raie épineuse	Rare	
<i>Dasyatis pastinaca</i>	La raie pastenague commune	Rare	
<i>Dipturus batis</i>	Patinoire commune	Rare	
<i>Dipturus oxyrinchus</i>	Raie à nez long	Rare	
<i>Mobula mobular</i>	Poisson diable	Rare	
<i>Myliobatis aquila</i>	Raie aigle commune	Rare	
<i>Rajella fyllae</i>	Rayon rond	Rare	✓
<i>Rostroraja alba</i>	Raie blanche	Rare	
<i>Torpedo marmorata</i>	Rayon de torpilles tacheté/marbré	Rare	
<i>Torpedo nobiliana</i>	Torpille de l'Atlantique	Rare	
Holocephali	Chimaeras		
<i>Chimaera monstrosa</i>	Le poisson lapin	Rare	✓
Agnatha	Poisson sans mâchoire		
<i>Lampetra fluviatilis</i>	La lamproie européenne	Commun	✓
<i>Petromyzon marinus</i>	La lamproie marine	Occasionnel	✓
Teleostei	Poisson osseux		
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille européenne	Commun	✓
<i>Gadus morhua</i>	Cabillaud	Commun	✓

<i>Pleuronectes platessa</i>	Plie	Commun	✓
<i>Salmo salar</i>	Le saumon de l'Atlantique	Commun	✓

Note : Toutes les espèces indiquées ont été enregistrées dans les eaux côtières du Royaume-Uni à des profondeurs inférieures à 200 m.

Sources de données

[En plus des sources issues de l'examen]

Froese, R. et D. Pauly. eds. (2003). FishBase. Publication électronique sur le World Wide Web. www.fishbase.org, version du 4 juin 2003.

Vas, P. (1991). Un guide de terrain sur les requins des eaux côtières britanniques. Publication n° 205 du Field Studies Council AIDGAP.

Conclusion

Ce qui ressort de cette analyse est qu'il existe de nombreux poissons électrosensibles qui sont potentiellement capables de répondre aux sources anthropiques de champ E. Cependant, nous ne savons pas si l'interaction entre les poissons et le champ E artificiel entraînera une réponse ou aura des conséquences pour les poissons.

6.3 Examen des espèces magnétosensibles

6.3.1 Détection du champ magnétique

Les organismes dont on sait (ou présume) qu'ils sont capables de détecter des champs magnétiques peuvent être classés en deux groupes en fonction de leur mode de détection du champ B : 1- détection de champ électrique induit et 2- détection basée sur la magnétite.

Détection de champ E induit

Le premier mode concerne les espèces électro-réceptives, dont la majorité sont les Elasmobranches (tableau 2). On suppose généralement que le mode de détection du champ E induit est utilisé pour la navigation. Les espèces qui utilisent ce mode sont considérées comme étant l'une ou l'autre :

- (a) *passif* - lorsque l'animal estime sa dérive à partir des champs électriques produits par l'interaction entre les courants de marée et de vent, et la composante verticale du champ magnétique terrestre ; ou
- (b) *active* - lorsque l'animal tire son cap de boussole magnétique du champ électrique qu'il génère par sa propre interaction avec la composante horizontale du champ magnétique terrestre (Paulin 1995 ; von der Emde 1998).

Il a été suggéré que le mode passif se produit chez le poisson plat migrateur *Pleuronectes platessa*, mais cette espèce peut en fait utiliser le mode à base de magnétite (Metcalfé et al. 1993).

Détection à base de magnétite

Les dépôts de magnétite jouent un rôle important dans la détection du champ géomagnétique dans une variété relativement grande d'organismes (tels que les oiseaux, les insectes, les poissons et les cétacés ; Kirshvink 1997). Pour beaucoup de ces espèces d'organismes, la sensibilité au champ géomagnétique est associée à une capacité de détection de la direction.

Le tableau 3 présente les espèces magnétosensibles qui vivent dans les eaux côtières du Royaume-Uni. Cette liste est basée sur les espèces qui ont montré qu'elles réagissaient directement aux champs géomagnétiques et/ou magnétiques ou qui sont des parents proches dans le cas de certains cétacés et chéloniens. Il est intéressant de noter qu'aucune preuve n'a été trouvée pour suggérer que les pinnipèdes (par exemple les phoques) sont magnéto réceptifs. Le

tableau 3 fait également référence à des espèces qui ne se trouvent pas dans les eaux britanniques mais qui ont des parents proches qui sont indigènes.

Preuves des études sur le champ magnétique

Des expériences comportementales ont montré que le requin gris (*Carcharhinus plumbeus*) et le requin-marteau festonné (*Sphyrna lewini*) réagissent à des champs magnétiques localisés de 25 à 100 μT (Meyer *et al* 2004). Cette étude prouve que les élasmobranches peuvent détecter des changements locaux dans les émissions de champ B par rapport au champ géomagnétique terrestre de fond (environ 36 μT dans cette étude).

La crevette brune *Crangon crangon* a été enregistrée comme étant attirée par les champs B de l'ampleur attendue autour des parcs éoliens (CIEM 2003).

Une étude des effets de l'exposition aux champs B statiques sur les crustacés, *C. crangon*, *Rhithropanopeus harrisi* (crabe rond) et *Saduria entomon* (isopode), le bivalve *Mytilus edulis* (moule) et le poisson téléostéen *Plathichthys flesus* (flet) n'a montré aucun effet significatif (Bochert & Zettler 2004). L'étude a été menée sur plusieurs semaines et les auteurs notent qu'il y a eu des suggestions de survie différentielle des crustacés.

Des expériences contrôlées ont montré que les CEM semblent perturber le transport des ions calcium dans les cellules, ce qui peut être important pour le développement des embryons. On a constaté que des champs B de 1-100 μT retardent le développement embryonnaire chez les oursins et les poissons (Cameron *et al.* 1985 ; Cameron *et al.* 1993 ; Zimmerman *et al.* 1990).

Il a été démontré qu'un champ électromagnétique alternatif à haute fréquence passé entre deux électrodes causait des dommages cellulaires importants aux larves de balanes et les amenait également à rétracter leurs antennes, ce qui interfère avec la colonisation (Leya *et al.* 1999).

Conclusion

Bien que les informations disponibles sur les champs magnétiques soient limitées, elles suggèrent que des interactions potentielles entre les émissions de champ B, de l'ordre de celles susceptibles d'être associées aux câbles des parcs éoliens, et les organismes côtiers pourraient se produire du niveau cellulaire au niveau comportemental.

Tableau 3. Liste des espèces magnétoréceptives dans les eaux côtières du Royaume-Uni.

Espèces	Nom commun	Présence relative dans les eaux britanniques	Preuve de la réponse aux champs B
Cetacea	Baleines, dauphins & marsouins		
<i>Phocoena phocoena</i>	Marsouin commun	Commun	✓
<i>Tursiops truncatus</i>	Grand dauphin	Commun	✓
<i>Lagenorhynchus albirostris</i>	Dauphin à bec blanc	Commun	
<i>Globicephala melas</i>	Baleine pilote à nageoires longues	Occasionnel	✓
<i>Lagenorhynchus acutus</i>	Dauphin à flancs blancs de l'Atlantique	Occasionnel	✓
<i>Orcinus orca</i>	L'orque	Occasionnel	
<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Petit rorqual		
<i>Delphinus delphis</i>	Dauphin commun à bec court	Occasionnel	✓
<i>Grampus griseus</i>	Le dauphin de Risso	Occasionnel	✓
<i>Physeter macrocephalus</i>	Cachalot	Occasionnel	✓
<i>Megaptera novaengliae</i>	Baleine à bosse	Occasionnel	
<i>Balaenoptera physalus</i>	Rorqual commun	Occasionnel	✓
<i>Stenella coeruleoalba</i>	Dauphin rayé	Rare	✓
<i>Monodon monoceros</i>	Narval	Rare	
<i>Delphinapterus leucas</i>	Beluga	Rare	
<i>Pseudorca crassidens</i>	Faux orque	Rare	
<i>Hyperdoon ampullatus</i>	Baleine à bec commune	Rare	
<i>Ziphius cavirostris</i>	Baleine à bec de Cuvier	Rare	
<i>Mesoplodon bidens</i>	Baleine à bec de Sowerby	Rare	
<i>Balaenoptera borealis</i>	Rorqual boréal	Rare	
<i>Balaenoptera musculus</i>	Baleine bleue	Rare	
<i>Eubalaena glacialis</i>	Baleine franche du Nord	Rare	
<i>Kogia breviceps</i>	Cachalot pygmée	Rare	✓
<i>Lagenodelphis hosei</i>	Le dauphin de Fraser	Rare	
<i>Peponocephala electra</i>	Baleine à tête de melon	Rare	
Chelonia	Tortues		
<i>Caretta caretta</i>	Loggerhead	Commun	✓
<i>Dermochelys coriacea</i>	Lutte contre la traite des êtres humains	Commun	
<i>Chelonia mydas</i>	Vert	Occasionnel	✓
<i>Eretmochelys imbricata</i>	Hawksbill	Rare	
<i>Lépidochelys kempii</i>	La Ridley de Kemp	Rare	
Teleostei	Poisson osseux		

<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille européenne	Commun	✓
<i>Salmo salar</i>	Le saumon de l'Atlantique	Commun	✓
Scombridae †	Thons et maquereaux	Commun	✓
<i>Pleuronectes platessa</i>	Plie	Commun	✓
<i>Salmo trutta</i>	Truite de mer	Occasionnel	✓
<i>Thunnus albacares</i>	Thon à nageoires jaunes	Occasionnel	✓

Espèces	Nom commun	Présence relative dans les eaux britanniques	Preuve de la réponse aux champs B
Elasmobranchii	Sharks, skates & Rayons	Tous les Elasmobranchii, Holocephali et Agnathans possèdent la capacité de détecter les champs magnétiques (pour les espèces, voir le tableau 2. Liste des espèces électro-réceptrices)	
Holocephali	Chimaeras		
Agnatha	Poisson sans mâchoire		
Crustacea †	Homards, crabes, crevettes et crevettes roses	<i>Cas spécifiques hors Royaume-Uni</i> Décapode : <i>Crangon crangon</i> (CIEM 2003) Isopoda : <i>Idotea baltica</i> (Ugolini & Pezzani 1995) Amphipoda : <i>Talorchestia martensii</i> (Ugolini 1993) ; <i>Talitrus saltator</i> (Ugolini & Macchi 1988)	
Mollusques †	Escargots, bivalves et calmars	<i>Cas spécifique hors Royaume-Uni</i> Nudibranche : <i>Tritonia diomedea</i> (Saule 1999)	

† = preuve de la réponse magnétique chez les espèces en dehors des eaux britanniques.

Sources de données

[En plus des sources issues de l'examen]

Cetacea

Atlas de la distribution des cétacés dans les eaux du nord-ouest de l'Europe. Eds Reid, J.B., Evans, P.G.H. & Northridge, S.P. (2003) Joint Nature Conservation Committee, Peterborough. Whale and Dolphin Conservation Society

<http://www.wdcs.org/dan/publishing.nsf/allweb/1C86991EC66F8D2C80256929003D EAAC>

Comité mixte pour la conservation de la nature <http://www.jncc.gov.uk/page-2713>

Patrimoine naturel écossais

http://www.snh.org.uk/trends/trends_notes/pdf/Marine%20species/Cetaceans.pdf

North Sea Bird Club, Université d'Aberdeen

http://www.abdn.ac.uk/nsbc/mar_mammals.hti

Chelonia

Société britannique d'étude de la vie marine <http://www.glaucus.org.uk/turtles.htm>

Marine Conservation Society <http://www.mcsuk.org/Turtles/turtlesuk/turtleuk.htm>

Howson, C.M. & Picton, B.E. (1997) *The Species Directory of the Marine Fauna and Flora of the British Isles and Surrounding Seas*. Ulster Museum & The Marine Conservation Society

7 Collation des informations disponibles et analyse documentaire - Industrie

Pour aborder l'examen des champs électromagnétiques en relation avec l'industrie, nous avons entrepris un exercice de consultation avec des développeurs dans tout le Royaume-Uni, qui a été soutenu par une consultation avec des scientifiques, des consultants et des développeurs en Europe. Cette section présente les résultats de ces consultations et fournit également des informations sur les récents développements dans notre compréhension des champs électromagnétiques, y compris la modélisation des CEM entreprise pour le compte du parc éolien offshore de Kentish Flats et d'autres sources potentielles de CEM d'origine anthropique dans l'environnement marin. Il y a une brève évaluation de l'importance potentielle de ces sources de CEM nouvellement identifiées pour les organismes marins sensibles et un résumé des principales lacunes dans notre connaissance des CEM dans l'environnement marin.

7.1 Consultation avec l'industrie

L'exercice de consultation avait quatre objectifs :

1. Évaluer la répartition des espèces d'intérêt (potentiellement) sensibles à l'électricité et au magnétisme dans chacune des principales zones de développement des parcs éoliens offshore (North West, Thames and Wash & East Coast, plus tout site de la première série en dehors de ces zones) (c'est-à-dire une "évaluation de la sensibilité") ;
2. Pour soutenir l'examen séparé par Econnect Ltd des stratégies de câblage adoptées par les différents développements de parcs éoliens offshore ;
3. Pour connaître toutes les expériences concernant les effets possibles des câbles sous-marins sur les poissons autour des premiers parcs éoliens construits ;
4. Fournir une source centrale et actualisée d'informations sur la position de l'industrie en ce qui concerne l'importance environnementale des effets des champs électromagnétiques et électriques induits, y compris la surveillance réelle et prévue.

Une liste de contacts pour chaque développeur de parcs éoliens offshore du premier et du deuxième tour au Royaume-Uni a été obtenue auprès du Crown Estate. Une demande de consultation (annexe 7) a été envoyée le 19 novembre 2004. Les informations demandées aux promoteurs étaient les suivantes :

- des copies des rapports de cadrage, des déclarations environnementales et, en particulier, des études justificatives (c'est-à-dire des rapports et données techniques) réalisées par des consultants sur les poissons, la pêche et/ou l'importance des champs électromagnétiques ;
- spécifications du câblage : tensions et courants maximums, y compris les informations sur les phases ; dimensions des câbles et longueur totale du câblage ; matériaux et propriétés des câbles (conductivité, constante diélectrique et perméabilité) ; profondeur d'enfouissement et disposition des câbles (y compris les distances de séparation des câbles par rapport au rivage) ;
- les détails de toute information technique spécifique sur les champs électromagnétiques, y compris les intensités prévues des champs magnétiques et électriques induits ;
- les détails de toute exigence de surveillance relative aux poissons ou aux champs électromagnétiques (par exemple, les conditions de la FEPA, le cas échéant) et l'approche actuelle ou prévue de cette surveillance.

Les informations reçues des différents développeurs ont ensuite été examinées et sont résumées dans les sections 7.1.1 à 7.1.3.

7.1.1 Résumé des informations sur l'industrie examinées

Les informations suivantes ont été reçues dans le cadre de l'exercice de consultation (tableau 4), qui visait l'ensemble du développement des parcs éoliens offshore britanniques des cycles 1 et 2.

Tableau 4. Résumé des réponses aux demandes de consultation.

Site	Tour 1/2	ES/ Champ d'application vu	Informations complémentaires reçues/disponibles	NOTES
Barrow	1	non		
Burbo	1	ES		CMACS projet - aucune information supplémentaire CMACS n'est demandée
Cromer	1	ES		
Gunfleet Sands	1	ES		
La radiesthésie intérieure	1	ES		
Kentish Flats	1	ES		CMACS specialist FEM projet - informations complémentaires sur le suivi demandées
Lynn	1	ES		Lynn a été interrogée dans le cadre du projet Inner Dowsing
Hoyle Nord	1	ES	<ul style="list-style-type: none"> programme de suivi les spécifications des câbles 	CMACS projet - aucune information supplémentaire CMACS n'est demandée
Ormonde	1	non		
Rhyl Flats	1	-		Projet en attente
Robin Rigg	1	ES	<ul style="list-style-type: none"> Spécifications prévues pour les câbles Conditions de consentement de la CPA Plan de suivi 	
Sables de Scarweather	1	non		
Sables de Scroby	1	ES		Les dispositions prises par l'Espagne et les réseaux de câbles
Shell Flats	1	non		
Teeside	1	ES		
Le haut-fond d'accostage	2	S		
Dudgeon East	2	-		Pas encore au stade de la définition du champ d'application
Grand Gabbard	2	S		CMACS projet - aucune information supplémentaire CMACS n'est demandée

Gunfleet Sands li	2	non		
Gwynt Y Mor	2	S		CMACS projet - aucune information supplémentaire CMACS n'est demandée
Passerelle Humber	2	non		
Lincs	2	S		
Le réseau de Londres	2	S		CMACS projet - aucune information supplémentaire CMACS n'est demandée
Banque de la race	2	-		Pas encore au stade de la définition du champ d'application
Sheringham Shoal	2	non		Demande de signature d'un accord de confidentialité
Thanet	2	-		Pas encore au stade de la définition du champ d'application
Triton Knoll	2	-		Pas encore au stade du scoping (a déclaré que la base de données iSEAS du CEFAS était utilisée)
Walney	2	S		
Duddon Ouest	2	-		
Le plus à l'ouest	2	-		

7.1.2 les espèces sensibles à l'électricité et au magnétisme

Les déclarations environnementales et les rapports de cadrage suivants ont été examinés :

Tableau 5. Déclarations environnementales (ES) et rapports de cadrage examinés dans le cadre de l'étude

OWF (Round 1/2)	Champ d'application/ES	Date
Sables de Scroby (1)	ES	Janvier 2001
North Hoyle (1)	ES	Février 2002
Robin Rigg (1)	ES	Mai 2002
Kentish Flats (1)	ES	Août 2002
Burbo Bank (1)	ES	Septembre 2002
Cromer (1)	ES	Octobre 2002
Gunfleet Sands (1)	ES	2002
Le Grand Gabbard (2)	Champ d'application	Février 2004
Teeside (1)	ES	Mars 2004
Banc d'accostage (2)	Champ d'application	Août 2004
Walney (2)	Champ d'application	Septembre 2004
Lincs (2)	Champ d'application	Octobre 2004

GwyntôMor (2)	Champ d'application	Novembre 2004
London Array (2)	Champ d'application	Mars 2003
La radiesthésie intérieure (1)	ES	2002
Codling Bank (Irlande)	ES	2003

Voici un résumé des principaux aspects des déclarations environnementales ou des rapports de cadrage pour chacun des trois domaines de développement stratégique du deuxième cycle :

Nord Ouest

Le rapport Walney a identifié plusieurs espèces de poissons importantes pour la conservation : le requin pèlerin, l'ange de mer, la raie commune (cette espèce n'a probablement pas besoin d'être prise en compte car elle est enregistrée comme disparue de la mer d'Irlande). Sont également mentionnées dans l'EIE les espèces enregistrées dans la zone du parc éolien : l'aiguillat commun, la raie épineuse et le requin pèlerin. Les effets électromagnétiques ont été considérés comme insignifiants pour les espèces sensibles.

L'ES North Hoyle a reconnu les raies épineuses, l'aiguillat, l'aiguillat commun et le tope comme des espèces électrosensibles susceptibles d'être trouvées à proximité du parc éolien. L'ES de Burbo Flats a mis en évidence les mêmes espèces que l'ES de North Hoyle avec l'ajout le requin pèlerin, le requin bleu, le requin renard, le mako, le requin-taupo commun et les raies électriques comme espèces rares et vagabondes dans la mer d'Irlande. Le rapport de cadrage de Gwynt-y-Môr mentionne également le requin pèlerin, le requin bleu, le requin renard, le mako et le requin-taupo commun, mais ne fait aucun commentaire spécifique sur l'effet des parcs éoliens sur ces poissons. La présence de raies épineuses dans la baie de Liverpool a été reconnue dans ce dernier rapport mais l'évaluation de l'effet des champs électromagnétiques et électriques induits a été laissée en suspens jusqu'à la déclaration environnementale pour ce site.

Le Robin Rigg ES a répertorié les élasmobranches suivants enregistrés dans le Solway Firth : raie épineuse, raie pastenague, raie électrique, aiguillat, tope, pèlerin, bleu, requin renard et requin-taupo commun. Les "huit autres espèces de raies" (probablement des raies blondes, des raies tachetées, etc.), les lévriers lisses et les requins anges ont également été considérés.

Wash & Côte Est

Le rapport Lincs a examiné les élasmobranches (aucune référence à des espèces particulières), les salmonidés et les anguilles mais ne leur a pas attribué d'impact spécifique et n'a pas non plus abordé leur biologie spécifique en relation avec les parcs éoliens.

Les travaux d'étude (chaluts) pour l'ES Inner Dowsing n'ont pas permis de capturer des élasmobranches et n'ont donc pas été discutés, de même que les anguilles et les salmonidés n'ont pas été capturés et n'ont donc pas été discutés. Le requin pèlerin a été mentionné comme une espèce figurant sur la liste rouge des données de la CITES et de l'UICN.

Le Cromer ES (2002) a identifié la raie épineuse, les chiens d'infirmerie, les roussettes, l'aiguillat et le tope comme étant présents dans la région du parc éolien. La truite de mer a également été mentionnée.

Le Teesside ES (2004) a supposé que des raies étaient présentes dans la zone car ces poissons sont ciblés dans les pêcheries. Les aiguillats sont également présents, car ils sont capturés comme prises accessoires dans la pêche à la palangre. De même, le rapport d'évaluation du banc d'amarrage (2004) a mentionné les raies comme faisant partie des pêcheries locales et le seul élasmobranche spécifiquement inclus était le requin pèlerin.

Le Scroby Sands ES (2002) a fait référence à l'enquête sur les jeunes poissons menée par le CEFAS de 1981 à 1997 lorsqu'il a examiné les espèces capturées dans cette région. Il apparaît que

l'aiguillat, la raie épineuse, la raie blonde, la raie à petits yeux, la raie tachetée, la raie ondulée, la raie étoilée et les lévriers lisses sont tous présents dans cette région.

Tamise

Gunfleet a mentionné une pêche à la raie épineuse sur les sables et a également cité l'étude du CEFAS sur les jeunes poissons de 1981 à 1997 qui a trouvé des raies épineuses et étoilées dans la région de la Tamise.

Kentish Flats n'a mentionné aucun élasmobranche spécifique susceptible d'être affecté par des champs électromagnétiques ou électriques induits dans la zone du parc éolien. Ces deux rapports mentionnent la présence de salmonidés et d'anguilles dans la zone des parcs éoliens mais indiquent que les saumons évitent naturellement le site des parcs éoliens en raison de leur voie de migration. Il a été postulé que les anguilles et les truites éviteraient le parc éolien pendant la période de construction en raison du bruit de la construction. Six espèces d'élasmobranches ont été recensées dans la région du Grand Gabbard Bank et ont également été mentionnées dans le rapport de cadrage du London Array : l'aiguillat commun, la roussette, l'aiguillat commun, le requin ange, le coucou et la raie épineuse. On a également noté la présence occasionnelle dans la région de requins-taupes communs, de requins renards et de requins pèlerins.

Position de l'industrie sur les champs magnétiques et électriques induits - Généralités

La plupart des déclarations environnementales qui ont pris en compte les champs magnétiques et électriques induits ont suggéré que le développement du parc éolien n'influencerait pas le comportement des espèces sensibles car l'enfouissement des câbles atténuerait tout effet négatif. Une exception est l'étude de Gunfleet Sands ES (2002), qui cite le manque de preuves pour une conclusion ferme. Scroby Sands ES, (2001) et Codling Bank ES (2003) n'ont pas du tout mentionné les champs électromagnétiques ou électriques induits. En raison de la position du parc éolien proposé dans le Solway Firth, l'ES associé (Robin Rigg ES, 2002) craignait que le câble ne soit périodiquement exposé par des bancs de sable mouvants. Dans une telle situation, il a été postulé que le câble repousserait les raies à dos épineux et empêcherait peut-être leur migration vers la baie d'Allonby où cette espèce est connue pour se reproduire. Cependant, l'importance des champs électromagnétiques et électriques induits a été considérée comme faible car l'exposition du câble a été jugée très improbable.

Champs électriques induits

Il y avait une certaine divergence dans les déclarations environnementales concernant l'ampleur du champ électrique qui peut repousser les élasmobranches, les rapports citent diversement des chiffres de $10\mu\text{V}/\text{cm}$, $1000\mu\text{V}/\text{cm}$ et $1000\mu\text{V}$ (sic). Ceci est très probablement lié à une confusion sur les unités de mesure.

Les déclarations sur l'environnement s'accordent généralement sur le fait qu'un champ d'une intensité suffisante pour provoquer un comportement d'évitement dans les élasmobranches ne se produira qu'à 10-20 cm du câble et qu'il suffit donc d'enterrer le câble et de le recouvrir d'une armure de rochers. Selon un rapport, le champ électromagnétique présent à la surface des sédiments serait inférieur au bruit de fond (Kentish Flats ES, 2002).

L'étude Inner Dowsing ES (2002) contenait la déclaration suivante sur les CEM :

"Le câble sera un système de courant alternatif à haute tension dont les trois conducteurs seront réunis en un seul câble avec un écran global, ce qui permettra d'éviter les champs électriques ou magnétiques, car les champs électriques sont contenus dans le câble (courriel Pirelli, 2002). En raison de la conception du câble, en particulier l'isolation blindée et la profondeur à laquelle il sera enterré, le champ électrique devrait être nul".

On trouve une déclaration similaire dans le Robin Rigg ES (2002) qui prédit qu'autour des parties du câble enterrées par forage dirigé, il n'y aura pas de champ électrique à la surface des sédiments.

D'autres déclarations environnementales (Burbo Flats ES, 2002 ; North Hoyle ES, 2002 ; Robin Rigg ES, 2002 ; Teesside ES, 2004) ont suggéré d'enterrer le câble pour atténuer le champ électromagnétique à la surface des sédiments. Cela était dû à la possibilité que les requins et les raies soient attirés par le câble car le champ électrique pourrait être similaire à celui qui entoure les organismes proies. Par la suite, cependant, ces rapports ont cité des preuves insuffisantes pour confirmer que cela était un problème. Un rapport a déclaré qu'un champ électromagnétique ou un champ électrique induit n'affectera pas la capacité d'un requin ou d'une raie à détecter des proies, mais n'a fait aucune mention de l'enfouissement des câbles (Cromer ES, 2002).

Le travail de Gill & Taylor (2001) a été cité dans la plupart des rapports de cadrage et des déclarations environnementales. Les résultats de ces recherches ne sont pas toujours utilisés efficacement : D'après une déclaration environnementale de Gill & Taylor (2001), les rayons sont moins susceptibles d'être affectés par des champs électromagnétiques et électriques induits que les roussettes utilisées par Gill & Taylor, car leurs pores électro-sensoriels sont plus étendus sur leur museau que sur les roussettes et sont donc moins sensibles (Cromer ES, 2002)². Le Teesside ES (2004) a également résumé Gill & Taylor (2001) mais n'a pas utilisé ces informations pour postuler les impacts possibles des câbles des parcs éoliens offshore sur les espèces d'élaémobranches présentes dans cette région.

Champs magnétiques

Les cétaqués, les saumons et les anguilles anguillides ont fait l'objet d'une attention particulière en ce qui concerne les champs B autour des parcs éoliens, car on considère généralement que tous ces organismes utilisent le champ magnétique terrestre pour naviguer pendant leur migration. Les champs magnétiques générés autour des parcs éoliens sont supposés être une source potentielle de perturbation de la migration des baleines, des saumons et des anguilles. Cependant, comme la migration se fait généralement en eau libre et loin des fonds marins, les parcs éoliens ne devraient pas avoir d'effet néfaste sur la migration des poissons et des baleines.

Les impacts des câbles du parc éolien sur les saumons, les truites de mer et les anguilles européennes ont été pris en compte dans toutes les déclarations environnementales et les rapports de cadrage dans la région de la baie de Liverpool, mais se sont concentrés sur l'enfouissement des câbles et les impacts sur les sédiments en suspension qui en résultent plutôt que sur les champs magnétiques. Il existe plusieurs câbles enterrés dans cette région (estuaire de la Dee) qui ont été considérés comme n'ayant pas affecté les migrations des anguilles ou des salmonidés dans le passé. Les salmonidés et les anguilles ont également été pris en compte dans le Robin Rigg ES (2002) mais aucun effet des champs magnétiques n'a été prédit car on suppose qu'ils utilisent l'olfaction plutôt que le champ magnétique terrestre pour naviguer une fois qu'ils sont proches de la côte.

7.1.3 Stratégies de câblage

Les conclusions de l'étude Econnect (cf. section 8.1) sont généralement étayées par les informations fournies par les entreprises consultées. La stratégie de câblage est largement normalisée dans l'ensemble du secteur et les développeurs sélectionnent

trois câbles de 33 kV pour les connexions intra-réseau et 132 (ou éventuellement 245 kV) pour la connexion au réseau terrestre.

Un ou deux développeurs pourraient envisager d'utiliser un câblage intra-réseau de 74 kV ; cependant, d'après ce que nous savons actuellement, il est peu probable qu'une telle option soit installée.

Il est possible que le deuxième cycle de développement fasse appel à des sous-stations offshore intégrant des appareillages de commutation, des transformateurs, etc. pour convertir la tension du câblage du réseau de collecte des éoliennes en tension du ou des câbles sous-marins à terre. Cela signifie qu'il est probable qu'un certain nombre de câbles se rejoignent à une distance relativement proche (moins de 10 m) des sous-stations offshore. Cela aura des conséquences sur les CEM, qui sont examinées plus en détail à la section 7.2.

7.2 Progrès récents dans la compréhension des CEM

7.2.1 Modélisation des CEM

La modélisation des CEM a récemment été entreprise par l'université de Liverpool dans le cadre d'une étude CMACS sur le site du parc éolien offshore de Kentish Flats (CMACS 2004). La modélisation a été réalisée de la même manière que les travaux de la phase 1 de COWRIE. Le modèle de Kentish Flats concernait deux câbles de 33 kV avec des conducteurs de tailles différentes, 500 mm² et 185 mm², supportant des charges de courant maximales de 530A et 265A respectivement. L'étude COWRIE phase 1 (CMACS 2003) a modélisé un seul câble sous-marin triphasé XLPE de 132 kV transportant 350A dans chaque conducteur. Les seules différences entre les deux modèles sont la constante de conductivité utilisée pour l'eau de mer (eau de mer pleine à 5 s/m pour COWRIE 1, 4 s/m à Kentish Flats). D'autres différences (par exemple en ce qui concerne la conductivité de la gaine, la tension de fonctionnement, la charge de courant, etc.) concernent la spécification et le fonctionnement du câble. Les tableaux 6 et 7 détaillent les propriétés électromagnétiques des matériaux et les principaux paramètres des deux câbles.

Tableau 6. Propriétés électromagnétiques des matériaux des deux câbles sous-marins à Kentish Flats.

	Permittivité relative ϵ_r	Conductivité σ (s/m)	Perméabilité relative μ_r
Conducteur (Cuivre)	1.0	58,000,000	1.0
XLPE	2.5	0.0	1.0
Gaine (Cuivre/Semi)	1.0	1,000,000	1.0
Armure (fil d'acier)	1.0	1,100,000	300
Eau de mer	81	4.0	1.0
Fonds marins	25	1.0	1.

Tableau 7. Principaux paramètres du câble 1 et du câble 2 à Kentish Flats.

	Câble 1	Câble 2	Note
Diamètre extérieur (mm)	128.7	105.0	Acier de 10 mm armure
Taille du conducteur (mm ²)	500	185	Cuivre
Diamètre du conducteur (mm)	28.9	17.9	
Écran métallique (mm)	47.2	36.2	Cuivre
Tension maximale (kV)	33	33	
Courant maximal (A)	530	265	Chaque câble

Pour le câble 1 des Kentish Flats, la densité de courant sur la "peau" du câble (c'est-à-dire en millimètres) et dans le fond marin directement au-dessus du câble est de $0,00004\text{A/m}^2 = 40\mu\text{A/m}^2$. Cela peut être approximé à une intensité de champ E de $40\mu\text{V/m}$ (en supposant une conductivité du fond marin de 1 Siemen par mètre [S/m]). Le champ E dans le fond marin se dissipe rapidement pour atteindre seulement 1 ou 2 $\mu\text{V/m}$ à une distance d'environ 10 m du câble.

L'amplitude maximale de la densité de courant à l'interface entre le fond marin et l'eau de mer est d'environ $0,00001\text{A/m}^2 = 10\mu\text{A/m}^2$. Cela signifie que le champ E maximum généré par le câble 1 dans la mer est de $2,5\mu\text{V/m}$ (en supposant une conductivité de l'eau de mer de 4 S/m, c'est-à-dire entièrement marine).

La même simulation a été réalisée pour le câble 2. Le tableau 8 résume les principaux paramètres des CEM générés par le câble 1 et le câble 2 lorsqu'ils sont enfouis à 1,5 m dans le fond marin.

Tableau 8. Principaux paramètres CEM du câble 1 et du câble 2 à Kentish Flats (câble enterré à 1,5 m de profondeur).

	Câble 1	Câble 2	Note
Champ Max B dans les fonds marins (μT)	1.5	0.9	En supposant que $\sigma = 1$
Densité maximale de courant dans les fonds marins ($\mu\text{A/m}^2$)	40	25	
Champ d'iE maximum dans les fonds marins ($\mu\text{V/m}$)	40	25	
Estimation du champ moyen d'iE dans les fonds marins ($\mu\text{V/m}$)	20	12.5	*1
Champ B maximal en mer (μT)	0.03	0.02	En supposant que $\sigma = 4$
Estimation du champ B moyen en mer (μT)	0.015	0.01	*1
Densité maximale de courant dans la mer ($\mu\text{A/m}^2$)	10	6	
Champ d'iE maximal en mer ($\mu\text{V/m}$)	2.5	1.5	

*1 - suppose que les conditions moyennes de production chargent les câbles avec 50 % du courant à la sortie maximale.

Cette modélisation permet une comparaison utile entre deux des spécifications de câble communément considérées pour les parcs éoliens offshore, 132kV et 33kV (cf. section 8.1). Le champ d'énergie électrique maximum prévu dans l'eau pour l'un ou l'autre des câbles des Kentish Flats (2,5 $\mu\text{V}/\text{m}$) est sensiblement inférieur au champ d'énergie électrique maximum prévu par la modélisation dans l'étude COWRIE 1.0 du CMACS (2003) pour un câble triphasé de 132 kV, 350 ampères, enterré à 1 m, qui était de 91 $\mu\text{V}/\text{m}$. Toutefois, ces deux valeurs se situent dans la plage qui peut être détectée par les élasmobranches et potentiellement attractive pour ces espèces (0,5 - 100 $\mu\text{V}/\text{m}$).

La modélisation des Kentish Flats a également fourni la première évaluation des champs B et iE résultants lorsqu'un parc éolien fonctionnait en dessous de sa capacité maximale (c'est-à-dire à des vitesses de vent moyennes). Il y avait une relation linéaire entre la charge de courant et les champs B et iE résultants, les deux champs étant directement proportionnels à la charge de courant, de sorte que la réduction de moitié du courant réduisait de moitié les champs résultants.

En plus des nouvelles informations sur les CEM provenant d'une autre conception de câble, il est maintenant reconnu que les réseaux câblés dont les CEM sont très proches les uns des autres (par exemple, comme cela peut être le cas aux points de rassemblement des sous-stations où les câbles peuvent être distants de moins de 10 m) peuvent nécessiter une analyse spécifique au site en raison de l'interaction des champs comme un seul système. Normalement, l'amplitude maximale du champ électromagnétique en un point donné est inversement proportionnelle à la distance du câble d'alimentation. Cependant, les câbles sous-marins à 50 Hz ont de grandes longueurs d'onde et lorsque ces câbles sont très proches les champs peuvent être combinés de manière constructive (en phase), ce qui donne des champs plus importants dans ces zones. Nous comprenons que l'effet pour les câbles à proximité immédiate sera de combiner les champs de manière additive (Yi Huang, comm. pers.). Cela pourrait donner des champs de iE de plusieurs centaines de $\mu\text{V}/\text{m}$ si les câbles ne sont pas enterrés ou des champs autrement amortis lorsque les câbles se rejoignent dans les sous-stations.

7.3 *Autres sources de champs magnétiques et électriques*

L'industrie des parcs éoliens offshore est un secteur nouveau et en plein développement qui doit utiliser de très grandes quantités de câbles électriques. La reconnaissance du fait que ce câblage a le potentiel d'interagir avec des organismes sensibles aux CEM a conduit à la nécessité d'améliorer la compréhension de cette interaction et de la présente révision. Il existe cependant des sources anthropiques de champs électriques et magnétiques qui sont présentes dans l'environnement marin depuis de nombreuses années. Il s'agit notamment des câbles de télécommunication, des fibres optiques et coaxiales, des pipelines chauffés et d'autres câbles électriques.

Ces câbles et pipelines offshore existants ont un potentiel variable de production de champs électriques et/ou électromagnétiques. Voici un bref aperçu.

7.3.1 Câbles de télécommunications sous-marins

Les premiers câbles de télécommunication étaient de type coaxial, c'est-à-dire avec un conducteur de retour métallique extérieur entourant un conducteur central intérieur. La plupart des câbles de télécommunication longue distance modernes sont constitués de fibres optiques plutôt que de fils. Ces câbles peuvent nécessiter l'alimentation d'amplificateurs de signaux (répéteurs) qui amplifient le signal à différents points sur la longueur des câbles. Il a déjà été noté (section 6.3.1) que les champs électriques d'un câble de télécommunications particulier étaient compris entre 1 et 6,3 $\mu\text{V}/\text{m}$ à 1m, ce qui était inférieur, mais comparable, aux amplitudes de champ iE prédites par la modélisation dans l'étude COWRIE 1).

Certains câbles de télécommunication récents sont considérés comme utilisant l'amplification optique sans avoir besoin du régénérateur électrique dans le répéteur. On prévoit que ce dernier système et les câbles à fibres optiques de courte longueur sans répéteur n'auront pas de champs

électriques ou magnétiques associés ; toutes les autres conceptions de câble de télécommunication sous-marin ont le potentiel de produire des champs magnétiques et/ou électriques dans l'environnement marin.

L'information la plus complète sur les câbles sous-marins de l'Atlantique Royaume-Uni/NE qui ne sont pas spécifiquement associés à des parcs éoliens est le SIG Geocable qui peut être obtenu par le biais de Global Marine Systems. Les données appartiennent au Comité de protection des câbles du Royaume-Uni (UKCPC), un forum international d'administrations et de sociétés commerciales qui possèdent, exploitent ou entretiennent des câbles de télécommunications sous-marins dans les eaux britanniques. L'objectif principal du UKCPC est de promouvoir la sécurité maritime et de protéger les câbles de télécommunications sous-marins contre les risques naturels et d'origine humaine.

La base de données SIG Geocable est un produit disponible dans le commerce dont le coût était hors de portée du présent projet. Toutefois, le UKCPC fournit également un ensemble gratuit de données de base qui est administré par Seafish Kingfisher par le biais de son projet KIS-CA et de la sensibilisation au câble.

L'un des moyens de communication disponibles par le biais de la KIS-CA sont les cartes qui indiquent les principaux itinéraires de câbles en service et d'autres détails physiques (par exemple, les répéteurs, les épissures, etc.), ainsi que les procédures d'urgence et les numéros de contact. Les cartes sont produites et distribuées gratuitement aux pêcheurs et sont mises à jour chaque année pour améliorer la connaissance du câble. En outre, les données sont également disponibles en format électronique et comprennent les câbles analogiques et télégraphiques hors service qui constituent toujours une menace pour la sécurité de la pêche (<http://www.kisca.org.uk/charts.htm>).

Les eaux couvertes par le projet KIS-CA sont vastes - la mer du Nord, la Manche, le canal de Bristol / les approches du sud-ouest, la mer d'Irlande et l'ouest de l'Écosse (c'est-à-dire les zones CIEM IV, VII et VI) - et comprennent donc des câbles entre les côtes de la Norvège, du Danemark, de l'Allemagne, des Pays-Bas, de la Belgique, de la France, de l'Irlande et du Royaume-Uni (voir annexe 8).

Les examens des activités existantes dans le cadre du programme DTI SEAs (évaluations environnementales stratégiques) fournissent également un résumé des emplacements des câbles de télécommunications sous-marins existants pour les zones de la Tamise et de Wash & East Coast (DTI [SEAS](#)).

La région de la Tamise dispose d'une certaine infrastructure de câbles, avec cinq câbles principaux traversant la zone du deuxième tour de la Tamise jusqu'à Margate et d'autres câbles présents dans cette zone ou à proximité (annexe 8). La zone du nord-ouest possède également une infrastructure de câbles importante dans la zone de Liverpool Bay Round 2 (annexe 8). Cette zone dispose également d'une ligne électrique reliant l'île de Man au continent près de Blackpool. Il y a beaucoup moins de câbles de télécommunication existants dans la région de Wash & East Coast (1 câble atterrissant à Sheringham ; annexe 8). D'autres zones de la côte britannique disposent d'un plus grand nombre de câbles, notamment les approches du sud-ouest et la Manche orientale (voir annexe 8).

Les câbles sous-marins de télécommunications longue distance sont alimentés par des centrales électriques à haute tension en courant continu, ou des équipements d'alimentation électrique, à chaque extrémité, qui fournissent 8 à 15 kilovolts de courant continu à travers le système à des courants allant jusqu'à 1,6 ampère. Cette électricité alimente les répéteurs du système (voir : www.diveweb.com/offshore/features/uw-su97.02.htm). Nous n'avons pu obtenir aucune information détaillée sur l'ampleur probable des champs électriques ou magnétiques.

7.3.2 Pipelines

Les oléoducs et les gazoducs peuvent être chauffés pour empêcher la formation de cire et d'hydrates qui peuvent réduire le débit et potentiellement bloquer les pipelines. Diverses options de chauffage sont disponibles, notamment l'injection de produits chimiques (où la chaleur est dégagée par une réaction exothermique), des conduites d'eau chaude de petit diamètre à l'intérieur de la canalisation principale et le chauffage électrique.

Les pipelines chauffés à l'électricité fonctionnent soit par chauffage direct, soit par induction. Avec le chauffage par induction, un conducteur est enroulé autour de la canalisation, le courant dans le conducteur crée un champ magnétique qui induit un courant directement dans la paroi de la canalisation (métallique). Le courant qui circule dans la canalisation a alors un effet chauffant dû à la résistance du matériau de la canalisation.

Avec le chauffage direct, une tension est appliquée directement à la canalisation, le courant qui en résulte retourne à la source en passant soit par une combinaison d'eau de mer et de canalisation, soit par un câble séparé.

On sait que les tensions et les courants varient considérablement. Dans la majorité des cas, on pense que les câbles sont monophasés, à courant élevé et non blindés/non blindés. L'ampleur des champs B et E produits est inconnue mais serait probablement plus importante avec des câbles chauffés directement.

Le rapport sur l'énergie du DTI (www.dbd-data.co.uk/bb2001/) fournit une base de données détaillée sur l'emplacement des conduites de pétrole et de gaz existantes. Nous n'avons toutefois pas pu obtenir d'informations sur la fréquence des conduites chauffées à l'électricité, ni sur le fait que ces conduites traversent ou non les zones de développement des parcs éoliens, ni sur les évaluations et la surveillance environnementales entreprises en ce qui concerne les effets des champs électriques et magnétiques.

7.3.3 Autres câbles électriques

Il existe d'autres câbles électriques qui relient les installations pétrolières et gazières. En outre, on sait que des câbles relient des îles au réseau électrique continental ou traversent des estuaires et des baies (voir la phase 1 de l'étude COWRIE sur les champs électromagnétiques où un champ électrique non quantifié a été relevé dans l'estuaire du Clwyd, au nord du Pays de Galles). Aucune information n'a été trouvée concernant ces sites de câble plus petits et très localisés, bien qu'une partie des informations puisse être disponible par le biais de la base de données SIG Geocable.

Les futurs développements des énergies renouvelables en mer, y compris les projets d'énergie éolienne, houlomotrice et marémotrice, nécessiteront également des câbles électriques sous-marins qui viendront s'ajouter à la longueur croissante des câbles dans les eaux côtières britanniques.

7.4 Inférer les effets des câbles sous-marins existants sur les espèces sensibles aux EM

Nous avons résumé les informations géographiques qui étaient disponibles. Afin d'évaluer s'il existe des liens entre les câbles, les pipelines et les espèces sensibles aux EM, nous nous sommes concentrés sur les élasmobranches des eaux côtières de l'Angleterre et du Pays de Galles. Nous avons accédé à la base de données sur la pêche du CEFAS (<http://map2.cefasdirect.co.uk/isea/>), aux données DEFRA pour la mer d'Irlande et aux données sur les captures des pêcheries de l'île de Man. Nous avons également consulté les études publiées sur la pêche afin d'évaluer qualitativement s'il y avait des preuves d'une association entre les espèces d'élasmobranches sensibles à l'électricité et le réseau câblé existant autour de la côte d'Angleterre et du Pays de Galles.

Les données du début du ^{XXe} siècle comparées aux données de captures des années 1980 et suivantes montrent que les populations d'élasmobranches ont considérablement diminué. Ces données sont limitées et les seules zones de pêche où l'on connaît également des tracés de

câbles sont celles de la mer d'Irlande. Nous n'avons aucune information sur la date d'installation des câbles, mais nous avons supposé que pour la plupart d'entre eux, c'était après 1910. Bien que les données montrent un déclin des élasbranches, la principale cause de ce déclin est attribuée à la pêche et à la dégradation de l'habitat. Il n'est pas possible de déterminer si les CEM ont joué un rôle dans ce déclin.

Les données les plus récentes sur la pêche montrent qu'une proportion importante de la population de raies anglaises et galloises (voir annexe 9 - noter les espèces non définies) vit dans l'est de la mer d'Irlande, le canal de Bristol et l'estuaire de la Tamise. Il s'agit de zones traversées par des câbles importants (voir annexe 8). Les mêmes données montrent qu'il existe également des proportions importantes de la population de raies dans la baie de Cardigan où il n'y a pas de câbles.

Nous n'avons pu trouver aucune donnée appropriée pour les eaux écossaises et les données limitées disponibles pour les eaux anglaises et galloises ont démontré qu'il serait difficile de montrer spécifiquement une association entre les CEM et la distribution et l'abondance des élasbranches sans connaître l'emplacement précis de l'étude de pêche et les câbles qui traversent la zone d'étude. Une analyse plus détaillée et quantitative était hors de portée de cette étude.

7.5 Résumé et lacunes en matière d'information

Il ressort clairement des informations reçues de l'industrie éolienne en mer, et en particulier à la suite de l'examen des déclarations environnementales, que la question des effets électromagnétiques (champ B et iE) sur l'électricité et le magnétisme Les espèces sensibles n'ont pas été abordées de manière cohérente et qu'il existe un certain nombre d'idées fausses importantes. Parmi les principales idées fausses, on peut citer les affirmations selon lesquelles l'enfouissement des câbles permettra d'atténuer les effets des champs iE et B et qu'il n'y aura pas de champs électriques détectables de l'extérieur générés par les câbles électriques sous-marins standard de l'industrie.

La conclusion réelle de la phase 1 de l'étude COWRIE sur les CEM est que l'enfouissement du câble n'a pas réussi à "amortir" le champ B (et le champ E induit qui en résulte) ; cependant, l'enfouissement du câble à une profondeur d'au moins 1 m est susceptible d'atténuer les impacts possibles du champ B le plus fort et des champs E induits (qui existent à quelques millimètres du câble) sur les espèces de poissons sensibles, en raison de la barrière physique du substrat. Il convient de noter à ce stade que les CEM d'une magnitude pouvant être détectés par les animaux marins sensibles seraient produits par les câbles d'alimentation standard de l'industrie, même s'ils sont enterrés à plusieurs mètres. Il est possible que, pour certaines spécifications de câbles, l'enfouissement puisse entraîner une chute des champs iE maximaux en dessous du seuil entre l'attraction et la répulsion pour les élasbranches (100 $\mu\text{V}/\text{m}$) ; cependant, on ne peut pas le savoir pour des dispositions de câblage spécifiques sans modélisation ou mesures de terrain appropriées.

La principale raison de cette incohérence dans l'approche est cependant le manque d'orientation scientifique claire sur l'importance des effets sur les espèces réceptrices (s'il y en a). L'industrie a, en général, fait des efforts pour prendre en compte les effets des champs électromagnétiques et il faut l'en féliciter. Les progrès des connaissances scientifiques sont clairement nécessaires et les sections 10 et 11 contiennent des propositions d'études appropriées.

Suite à l'examen des informations de l'industrie, nous avons identifié un certain nombre de lacunes importantes dans les connaissances concernant les sources de champs électriques et magnétiques dans l'environnement marin. Ces lacunes concernent les informations sur les futures stratégies de câblage possibles pour les parcs éoliens en mer (et autres développements renouvelables en mer) et les autres sources (existantes) de champs B et E et sont résumées comme suit :

- les intensités probables des champs électriques et magnétiques associés à chaque source existante (c'est-à-dire les câbles de télécommunication, les câbles électriques non éoliens des fermes et les pipelines) ;
- les intensités probables des champs électriques et magnétiques associés aux câbles électriques sous-marins de 245 kV de nouvelle conception qui pourraient être utilisés sur les sites des parcs éoliens offshore du deuxième tour ;
- les intensités probables des champs électriques et magnétiques associés aux sous-stations offshore prévues pour les grands parcs éoliens de la deuxième phase.
- la fréquence et la durée du chauffage électrique des oléoducs et des gazoducs ;
- l'emplacement précis des câbles de télécommunication ;
- la localisation précise des autres câbles électriques sous-marins.

Ces lacunes en matière d'information sont importantes non seulement parce que nous devons comprendre l'étendue des champs B et E anthropiques avant de tenter de planifier et d'interpréter les études visant à évaluer leurs effets écologiques, mais aussi parce que toutes les sources anthropiques de champs B et E devraient être prises en compte dans le cadre des évaluations des impacts cumulatifs des projets de développement offshore susceptibles d'avoir des effets sur les champs électriques et/ou magnétiques.

Les lacunes doivent être comblées afin que les études directes des effets des champs E et B (cf. sections 10 et 11) puissent être pleinement interprétées en ce qui concerne non seulement le câblage des parcs éoliens offshore mais aussi d'autres sources de ces champs.

On pense que toutes ces lacunes peuvent être relativement facilement comblées par une combinaison de modélisation (sur le modèle de celle entreprise pour la phase COWRIE 1 (CMACS 2003) et la recherche de consultations/d'informations pour actualiser notre compréhension de la conception d'autres infrastructures électriques offshore.

8 Mise à jour de la stratégie de câblage des parcs éoliens offshore COWRIE phase 1 et de la modélisation des CEM

Dans la phase 1 de l'étude COWRIE EMF, nous avons passé en revue la stratégie de câblage adoptée par les développeurs de parcs éoliens offshore britanniques. La modélisation des CEM probables était basée sur la spécification des câbles identifiés comme susceptibles de représenter une approche standard de l'industrie.

Nous présentons ici une mise à jour de la stratégie britannique de conception des parcs éoliens offshore et résumons également notre réponse aux questions reçues à la suite de la publication du rapport de la phase 1.

8.1 Stratégie de conception des parcs éoliens offshore au Royaume-Uni

8.1.1 Introduction

Econnect Ltd a mis à jour son examen de la stratégie de conception, en ce qui concerne les câbles électriques sous-marins et les systèmes de gestion de l'énergie associés. La mission d'Econnect était la suivante :

- d'actualiser l'examen de la phase 1, en tenant compte des parcs éoliens à grande échelle prévus dans le cadre du cycle 2 et de toute avancée technologique dont disposent les développeurs.

Le rapport complet est fourni à l'annexe 10. Un résumé des principales conclusions est fourni dans la section suivante.

8.1.2 Résumé du rapport Econnect

Les principales conclusions du rapport sont les suivantes :

- Pour un grand nombre des parcs éoliens du deuxième tour, la connexion à l'aide d'un système de transmission à courant alternatif avec un ou plusieurs câbles sous-marins à trois conducteurs de 132 kV d'une capacité de 200 MW pourrait être la solution la plus rentable, malgré le nombre supplémentaire de câbles et de plates-formes de collecte en mer associés à ces solutions.
- Les câbles dans les parcs éoliens seront de 33kV.
- Des câbles à trois conducteurs de 245 kV actuellement en cours de développement pourraient être utilisés pour maximiser la capacité de transfert d'énergie des systèmes de transmission à terre en courant alternatif.
- L'utilisation de la transmission par liaison terrestre CCHT ne devient rentable que lorsqu'un projet se trouve à une distance importante du littoral et qu'il faut transférer de grandes quantités d'énergie.

Depuis la réception du projet de rapport final d'Econnect, nous avons appris que certains développeurs envisagent un câblage de 72 kV dans des réseaux offshore (London Array Déclaration environnementale de juin 2005). Le rapport d'Econnect suggère que cela est peu probable ; Econnect a fait les commentaires suivants :

L'augmentation du niveau de tension à 72 kV dans le système de câblage de réseau augmenterait le coût des câbles sous-marins, des systèmes de protection et des transformateurs de turbogénérateurs élévateurs, avec peu d'avantages pour le niveau de puissance transférée puisque le système de câblage de réseau est normalement disposé en chaînes et que la charge thermique du câble d'une partie de la chaîne serait donc normalement faible. (Adel Jawad, comm. pers.)

8.2 Réponses aux questions suite au rapport de la phase 1 du COWRIE

Un certain nombre de questions ont été reçues concernant l'approche de modélisation utilisée par le CIMS pour prévoir les champs électromagnétiques et électriques associés aux câbles électriques sous-marins pour les parcs éoliens offshore.

Les questions soulevées sont de nature technique et nous ne pensons pas qu'il soit nécessaire de réévaluer les conclusions finales du travail de modélisation des CEM de la phase 1. Les questions sont résumées et les réponses détaillées dans l'annexe 11.

9 Identification et évaluation des impacts potentiels

9.1 Aperçu des informations disponibles

D'après l'examen des informations disponibles, il est clair qu'il existe une lacune importante dans les connaissances concernant les espèces sensibles aux EM et les câbles sous-marins (en général). Les preuves qui existent sont résumées ci-dessous et sont basées sur des études qui ont un rapport direct avec les câbles électriques. Nous n'avons pas inclus les études qui pourraient suggérer une certaine pertinence indirecte, mais nous reconnaissons qu'elles pourraient devenir pertinentes à l'avenir à mesure que notre compréhension s'améliore (voir Gill, 2005). En utilisant les informations des sections précédentes, nous présentons les principaux aspects à prendre en compte en ce qui concerne les CEM liés aux parcs éoliens offshore et leurs impacts potentiels. Nous fournissons également une liste des espèces qui doivent être considérées en priorité.

Réponse directe aux champs électriques

Marra (1989) - preuves de morsures de requins sur un câble de télécommunications optiques sous-marin. Le câble était associé à deux formes de champs électriques induits : un champ E de 50 Hz de $6,3\mu\text{V}/\text{m}$ à 1m causé par l'alimentation du câble et un autre de $1\mu\text{V}/\text{m}$ à 0,1m résultant du passage des requins dans le champ B émis par le câble. Les tests comportementaux ultérieurs en laboratoire et en mer n'ont pas été concluants, mais le renforcement du câble a réduit l'incidence des morsures de requins endommageant le câble. Les champs E produits par ce câble sont comparables aux $91\mu\text{V}/\text{m}$ à 1m modélisés et mesurés pour le câble haute tension 50Hz standard de l'industrie pour les parcs éoliens offshore (voir COWRIE 1 pour plus de détails).

Gill & Taylor (2001) - preuves limitées en laboratoire que l'élaémobranche benthique (*Scyliorhinus canicula*) évite les champs de DC E à des intensités d'émission similaires à celles prévues par les câbles AC des parcs éoliens offshore. Les mêmes poissons ont été attirés par les émissions de DC à des niveaux prévus pour émaner de leurs proies.

Poddubny (1967) - a observé que l'esturgeon électro-récepteur (*Acipenser gueldenstaedtii*) s'est éloigné des lignes aériennes à haute tension (110kV) traversant au-dessus de l'eau. L'esturgeon a également nagé lentement à proximité des lignes et a nagé plus vite une fois qu'il les a dépassées.

Réponse directe aux champs magnétiques

Meyer et al. (2004) - première démonstration que les élaémobranches peuvent détecter des champs B dans la gamme 25-100 μT par rapport au champ géomagnétique ambiant (environ 36 μT).

Westerberg (2000) - a démontré une certaine réaction des anguilles européennes (*Anguilla anguilla*) aux émissions magnétiques des câbles CCHT.

CIEM (2003) - Une crevette (*Crangon crangon*) a montré une certaine attraction pour les champs B associés à un câble de parc éolien. Par conséquent, pour les champs B et E associés aux parcs éoliens offshore, nous devons le faire :

- Identifier les espèces les plus susceptibles d'interagir avec les CEM. Cela variera selon les espèces en fonction de leurs habitudes, de leur état de conservation et de la nécessité de prendre en compte les différents stades de vie
- Déterminer définitivement si ces espèces seront affectées
- évaluer l'importance potentielle de tout effet
- d'examiner spécifiquement l'importance des développements de parcs éoliens offshore de plus grande taille (cycle 2) ;
- tenir compte spécifiquement des impacts cumulatifs des développements adjacents, et pas seulement des parcs éoliens.

9.2 Évaluation de l'impact des champs électromagnétiques

9.2.1 Champs électriques induits

Les espèces benthiques telles que les raies et les requins-chats utilisent l'électroréception comme principal sens pour localiser leur nourriture. Les espèces d'eau libre (pélagiques), telles que les tétras, les requins taupes ou les salmonidés, ne peuvent rencontrer les champs E que pendant des périodes spécifiques telles que la saison de reproduction, les premiers stades de vie dans les nurseries d'eau peu profonde ou la migration. Ainsi, le potentiel d'impact est considéré comme le plus élevé pour les espèces qui dépendent de signaux électriques pour détecter les proies et les compagnons benthiques, les premiers stades de vie qui utilisent l'électro-réception pour détecter les prédateurs ou les routes migratoires qui les emmènent dans les eaux côtières peu profondes.

Comme l'importance potentielle pour les espèces électrosensibles des champs électriques anthropiques associés aux parcs éoliens est incertaine, nous devons la connaître :

- si les espèces électrosensibles peuvent détecter les champs induits émis par les câbles ;
- les conséquences, le cas échéant, pour l'espèce concernée ;
- si des effets sont similaires pour des individus (par exemple d'âge ou de sexe différents) au sein d'une population d'espèces ;
- si un effet est démontré, il est alors important de déterminer si l'effet est l'attraction ou l'évitement des CEM par l'espèce réceptrice.

Ce dernier point est fondamental pour toute compréhension de ce que signifie une réponse aux CEM pour les organismes qui y répondent. Si l'attraction des câbles vers les champs d'énergie électrique se produit, nous pourrions prédire les impacts indirects pour les animaux individuels qui étudient les champs d'énergie électrique en supposant qu'ils associent les champs à la nourriture et donc qu'ils perdent du temps et de l'énergie à le faire. Un champ répulsif pourrait avoir un impact direct en repoussant activement les animaux, interrompant ainsi leur comportement normal et excluant potentiellement l'habitat de l'utilisation. Il convient toutefois de noter qu'il n'existe actuellement aucune preuve que l'attraction ou la répulsion due aux champs électriques anthropiques aura un effet sur les poissons ou d'autres espèces réceptrices. Nous ne comprenons pas actuellement l'importance relative du tracé du câble qui traverse une grande longueur de fond marin (30 km ou plus pour les sites les plus éloignés de la deuxième phase) par rapport à un réseau de câbles couvrant une vaste zone (>200 km² pour certains développements de la deuxième phase). Si, comme prévu à la section 7.2.1, un réseau de câbles de moindre puissance produit un champ E additif, alors l'environnement électrique des espèces électro-réceptrices en termes spatiaux pourrait être différent de celui associé au câble principal vers le rivage.

9.2.2 Champs magnétiques

On sait qu'un certain nombre d'espèces utilisent le champ magnétique terrestre pour s'orienter lors de leurs migrations. Si les espèces perçoivent un champ magnétique différent de celui de la terre, elles peuvent réagir aux différences locales du champ B. En fonction de l'amplitude et de la persistance du champ magnétique confondant, l'impact pourrait être un changement temporaire insignifiant de la direction de nage, comme on le voit avec les anguilles rencontrant un câble CCHT, ou un retard plus sérieux de la migration.

Comme pour les champs électriques, nous ne connaissons pas l'importance relative du trajet (relativement) étroit des câbles par rapport au réseau de câbles du réseau. Il est probable que les champs B seront additifs.

9.2.3 Impacts cumulés

À mesure que la zone côtière britannique se développe, il est réellement nécessaire d'envisager les parcs éoliens offshore dans le contexte plus large des impacts cumulatifs. Il ne suffira pas d'envisager un développement en soi, car l'impact sur l'environnement électromagnétique côtier peut s'ajouter à celui d'autres développements de parcs éoliens offshore dans la région ou d'autres développements adjacents au site considéré.

Afin de soutenir les évaluations cumulatives, nous devons comprendre les champs E et B probables générés par d'autres installations offshore (cf. section 7.3).

En termes d'évaluation des impacts cumulés, le défi le plus urgent est d'améliorer notre compréhension de l'importance réelle des sources anthropiques existantes de champs E et B pour les espèces réceptrices. Tant que nous n'y parviendrons pas, l'évaluation des impacts cumulatifs ne sera possible qu'au moyen d'hypothèses éclairées.

9.3 Évaluation des espèces prioritaires

Pour toutes les espèces côtières du Royaume-Uni qui sont sensibles aux ondes électromagnétiques (voir les tableaux 2 et 3), la Commission européenne a publié un rapport sur la situation des espèces côtières au Royaume-Uni.

3) il est évident que notre connaissance de leur interaction avec les champs électromagnétiques est limitée. Dans le tableau 9, nous avons donné la priorité aux espèces qui sont les plus susceptibles d'interagir avec les CEM générés par les parcs éoliens offshore. Les espèces choisies sont les espèces benthiques et celles ayant des stades de vie spécifiques qui utilisent les eaux côtières.

L'établissement des priorités a été fondé sur l'examen des connaissances existantes (sections 6 et 7), de l'importance écologique, de l'importance pour d'autres activités humaines (par exemple la pêche, les loisirs), de la répartition et de la présence des espèces dans les zones des cycles 1 et 2 les développements de parcs éoliens offshore, et les lacunes en matière d'information qui existent au sein des EE existants et des études de cadrage pour les développements de parcs éoliens offshore. En outre, nous avons pris en considération l'état de conservation actuel des espèces aux niveaux national et international. Bien que les listes de conservation des animaux menacés soient des outils précieux pour créer une liste de priorités, il est important de noter qu'elles présentent plusieurs lacunes dans le contexte des CEM. Les espèces de poissons en général n'ont pas été évaluées pour leur statut de conservation. En outre, de nombreuses espèces (détaillées dans les tableaux 2 et 3), en particulier les élasmobranches, ne figurent pas sur les listes mais souffrent de graves déclin de population. Le tableau 9 devra donc être mis à jour à mesure que des informations supplémentaires seront obtenues, notamment en ce qui concerne les changements de la législation britannique en matière de conservation.

Tableau 9. Espèces prioritaires pour une étude plus approfondie de l'importance des champs électromagnétiques. Les attributs spécifiques qui ont été utilisés pour inclure chaque espèce dans la liste sont indiqués. Toutes les espèces sont connues pour utiliser les eaux côtières à un certain stade de leur cycle de vie.

Espèces	E ou B sensible	Critères de priorité
Requin ange (<i>Squatina squatina</i>)	E B	Annexe III Convention de Barcelone ; Annexe III Convention de Berne ; vulnérabilité biologique et de l'habitat ; Disparue de certaines zones
Tope (<i>Galeorhinus galeus</i>)	E B	Espèces du PAB du Royaume-Uni ; globalement sérieusement épuisées ; stades de vie vulnérables
Aiguillat (<i>Squalus acanthias</i>)	E B	En danger dans l'Atlantique du Nord-Est ; biologiquement vulnérable
Requin renard (<i>Alopias vulpinus</i>)	E B	Déclin sévère de la population ; stades de vie vulnérables
Requin-taube commun (<i>Lamna nasus</i>)	E B	Liste des priorités du Royaume-Uni en matière de biodiversité ; stades de vie vulnérables
Patinoire commune (<i>Dipturus batis</i>)	E B	Endémique à l'Atlantique du Nord-Est ; biologiquement très vulnérable ; espèces du PAB du Royaume-Uni ; liste rouge de l'UICN des espèces menacées
Raie blanche (<i>Rostroraja alba</i>)	E B	Annexe III Convention de Barcelone ; Annexe III Convention de Berne ; biologiquement très vulnérable
Raie à long nez (<i>Dipturus oxyrinchus</i>)	E B	Biologiquement très vulnérable ; aucune protection de la conservation
Raie épineuse (<i>Raja clavata</i>)	E B	Sévèrement épuisé ; forte pression de la pêche ; aucune protection de la conservation
Anguille européenne (<i>Anguilla anguilla</i>)	E B	Gravement épuisé ; biologiquement vulnérable ; annexe II & IV de la directive CE sur les habitats

Plie (<i>Pleuronectes platessa</i>)	E B	PAB du Royaume-Uni ; Espèces de pêche
Lamproie de rivière européenne (<i>Lampetra fluviatilis</i>)	E B	Annexe II & V de la directive communautaire sur les habitats
La lamproie marine (<i>Petromyzon marinus</i>)	E B	Annexe II de la directive communautaire sur les habitats
Saumon de l'Atlantique (<i>Salmo salar</i>)	E B	Annexe II et IV de la directive communautaire sur les habitats
Cabillaud (<i>Gadus morhua</i>)	E	PAB du Royaume-Uni ; Espèces de pêche
Marsouin commun (<i>Phocoena phocoena</i>)	B	Annexe II & IV de la directive CE sur les habitats ; ASCOBANS 1992 ; Annexe II de la Convention de Berne ; Annexe II de la CITES ; Annexe II de la Convention de Bonn ; Annexe 5 de la WCA 1981 ; espèces de la BAP du Royaume-Uni
Grand dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>)	B	Annexe II & IV de la directive CE sur les habitats ; ASCOBANS 1992 ; Annexe II de la Convention de Bonn ; espèces du PAB du Royaume-Uni
Tête de bûcheron (<i>Caretta caretta</i>)	B	CITES Annexe I ; Annexe II Convention de Berne ; Annexes I & II Convention de Bonn ; Annexe II & IV Directive Habitats de la CE ; Annexe 5 WCA 1981
La tortue luth (<i>Dermochelys coriacea</i>)	B	Annexe I de la CITES ; Annexe II de la Convention de Berne ; Annexes I & II Convention de Bonn ; Annexe IV Directive Habitats CE ; Annexe 5 AOC 1981
Décapodcrustacés (homard, crabe, crevettes)	B	Espèces de pêche

10 Priorités pour la recherche future

En raison du manque de compréhension des CEM et de leur impact environnemental, cette section du rapport a pour but de fournir à COWRIE un ensemble spécifique de priorités de recherche et un exposé de leurs avantages et de leurs limites.

Pour ce faire, nous avons d'abord défini un ensemble de questions de recherche spécifiques, que nous avons ensuite classées par ordre de priorité en fonction des informations disponibles, de l'état de conservation des espèces britanniques sensibles aux effets EM, de l'importance écologique des espèces, de leur valeur économique éventuelle (c'est-à-dire les espèces halieutiques) et de la possibilité d'obtenir des réponses définitives de la recherche dans un délai de quelques années. Nous avons également pris en compte les avantages de la recherche pour le secteur des parcs éoliens.

La phase 1 de l'étude COWRIE (CMACS 2003) a mis en évidence que les champs électriques induits par les champs électromagnétiques des câbles standard de l'industrie seraient potentiellement détectables par les espèces de poissons électrosensibles. La même étude a également démontré que l'enfouissement des câbles ne permettait pas d'atténuer totalement ces effets. Il n'existe toujours pas de preuve concluante que les champs électromagnétiques ou électriques induits par les câbles électriques sous-marins associés aux parcs éoliens offshore ont un impact sur les espèces ou les populations électrosensibles individuelles ; cependant, le potentiel d'impact est certainement présent.

Nous pensons que cette incertitude et l'impact potentiel sur l'environnement rendent urgente la nécessité d'une meilleure compréhension de ce domaine. Nous envisageons une approche en deux étapes :

1. Une étude unique du mésocosme impliquant l'enfermement d'une zone appropriée du fond marin dans laquelle on étudie la réponse d'une espèce benthique sensible aux EM (par exemple un élasbranché) aux champs B contrôlés expérimentalement et aux champs électriques induits par un câble sous-marin.
2. Surveillance des espèces sensibles à l'électricité et au magnétisme dans les parcs éoliens individuels, probablement dans les conditions de la FEPA, en fonction des conditions propres au site.

Dans la première étape, l'étude 1 vise à déterminer de manière définitive s'il existe une réponse d'une espèce sensible aux CEM associée à un câble électrique sous-marin standard de l'industrie éolienne. Nous considérons qu'une telle étude est la priorité de la phase 2 de l'étude COWRIE.

La surveillance (point 2 ci-dessus) sera effectuée dans le cadre de la licence FEPA des exploitants de parcs éoliens et fournira des données importantes (qui, selon les conditions de la FEPA, doivent être du domaine public) sur les sites réels des parcs éoliens. Ces données devraient être intégrées dans l'évaluation globale des effets des champs électromagnétiques et électriques et, idéalement, s'ajouter à l'étude COWRIE de la phase 2. Le programme de surveillance des parcs éoliens individuels est traité à la section 11.

Si l'étude du mésocosme et/ou la surveillance fournissent des données permettant de conclure qu'il existe des effets des CEM sur les espèces réceptrices, l'étape 2 doit être mise en œuvre. L'étape 2 doit porter sur les études spécifiques suivantes : Une étude collaborative visant à surveiller les réponses des élasbranchés aux câbles électriques sous-marins sur un ou plusieurs sites de parcs éoliens offshore au Royaume-Uni.

3. Étude/études en collaboration pour suivre les impacts potentiels sur les espèces magnétiquement sensibles et/ou les espèces électriquement sensibles non élasbranchés sur les sites des parcs éoliens offshore du Royaume-Uni.
4. Recherche spécifique visant à étudier l'importance des champs électriques et magnétiques pour les espèces de poissons du Royaume-Uni dans des environnements contrôlés et *in situ*.

La section 10.1 fournit plus de détails sur la portée probable d'une étude EMField de phase 2 du COWRIE en particulier et sur les travaux de suivi potentiels en général.

10.1 COWRIE Phase 2

10.1.1 Étape 1 Étude expérimentale du mésocosme

Comme nous l'avons souligné ci-dessus, nous recommandons une étude ponctuelle consistant à enfermer une section de câble sous-marin dans une zone appropriée du fond marin pour permettre d'évaluer la réponse d'une espèce d'élasbranché à des champs électriques contrôlés expérimentalement. Cela offrirait la meilleure possibilité d'obtenir des informations scientifiquement fondées sur la question principale qui nous intéresse : Les organismes sensibles aux EM réagissent-ils à des CEM anthropiques de l'ampleur de ceux générés par les parcs éoliens en mer ?

L'étude se déroulerait dans des conditions contrôlées, mais pour améliorer son applicabilité à la situation réelle, l'expérience sur le mésocosme se déroulerait dans un endroit peu profond et abrité des eaux côtières. L'étude devrait utiliser la technologie de télémétrie ultrasonique, qui détectera les mouvements en temps réel de poissons individuellement identifiables par rapport à une section sous tension d'un câble électrique sous-marin. Cette méthode est classée comme passive car un ensemble de récepteurs de télémétrie situés dans le mésocosme enregistrera automatiquement les mouvements des poissons. L'enregistrement complet de chaque récepteur peut être téléchargé à distance par un décodeur à intervalles réguliers.

Il est prévu que 40 à 50 élasbranchés adultes de la même espèce (par exemple, la raie épineuse) devront être marqués extérieurement puis relâchés dans l'un des deux mésocosmes. La

moitié des poissons sera relâchée dans un mésocosme avec un câble à l'intérieur et l'autre moitié dans un mésocosme de référence (contrôle).

Des données sur les variables environnementales ambiantes (par exemple la température, l'état de la marée, le courant, la période de l'année), le courant électrique dans le câble et les CEM présents dans chaque mésocosme seront nécessaires pour garantir que d'autres facteurs d'influence potentiels sont pris en compte.

L'avantage de ce type d'étude est qu'elle peut être menée dans de bonnes ou mauvaises conditions (par exemple, météo, turbidité) et que le mouvement complet de tous les poissons dans un enclos serait enregistré sur une période donnée. L'étude devrait avoir lieu au cours de la période printemps/été, lorsque les températures sont plus élevées et que les élastranchés sont plus actifs. En outre, c'est la période de l'année où de nombreuses espèces se déplacent vers des eaux moins profondes pour leurs activités de reproduction ; les poissons sont donc plus susceptibles de rencontrer les CEM présents car ils seront à la recherche de proies et de partenaires.

Un autre avantage est que les données seront enregistrées en continu, ce qui réduira automatiquement le temps et les efforts du personnel.

Le principal inconvénient est qu'en raison de l'ampleur de l'étude et de la nécessité d'utiliser un système de câbles sous-marins sous tension, un investissement important de ressources sera nécessaire. Toutefois, cet investissement fournirait les preuves nécessaires pour déterminer si les câbles des parcs éoliens offshore ont ou non des effets sur les élastranchés benthiques (les espèces réceptrices les plus susceptibles d'être touchées).

10.1.2 Étape 1 Surveillance *in situ*

La phase 2 de COWRIE serait donc principalement une étude biologique ; cependant, il est important que la surveillance spécifique au site (cf. section 11) soit considérée comme faisant partie de l'étude plus large des effets des CEM et que cette surveillance soit soutenue par un niveau approprié de connaissances sur la variabilité spatiale et temporelle des CEM sur les sites des parcs éoliens offshore. D'après les connaissances actuelles, les parcs éoliens ne produiront pas de champ électromagnétique et électrique induit constant dans le temps en raison de l'intermittence des vents. Il y aura des périodes, par temps calme et très venteux, où aucune électricité ne sera produite et où les champs électromagnétiques seront négligeables. À North Hoyle, par exemple, la vitesse minimale du vent requise est de 4 m/s et la coupure se produit à une vitesse de 25 m/s. Le vent doit alors tomber à 20m/s avant que l'électricité ne soit à nouveau produite. Cependant, même si aucune énergie n'est produite, un petit courant circulera du réseau au parc éolien par le biais des câbles sous-marins pour alimenter les systèmes auxiliaires en mer. Il est très important que les résultats de la surveillance puissent être mis en relation avec les CEM au cours de cette surveillance. Nous recommandons donc que la modélisation des champs électromagnétiques et électriques induits, depuis les niveaux de flux de base vers l'extérieur jusqu'aux conditions de production maximales, soit entreprise pour les arrangements de câblage spécifiques au site (si nécessaire), en se basant sur l'approche adoptée dans la phase 1 de l'étude COWRIE sur les CEM (CMACS 2003). Cela aiderait grandement à comprendre les changements dans l'environnement des champs électromagnétiques et à soutenir la surveillance biologique, à condition que l'équipe de surveillance dispose de données sur la production d'électricité au cours de la période de surveillance.

Un effort important devrait être fait pour poursuivre le développement de méthodes de mesure directe des champs électromagnétiques, comme la sonde *in situ* développée dans le cadre de la phase 1 de l'étude COWRIE sur les CEM (CMACS 2003). Un projet de cette nature peut permettre d'améliorer la qualité des données recueillies sur les sites des parcs éoliens afin de mieux comprendre la variabilité de la force des CEM en fonction de facteurs environnementaux tels que le vent, la température et le type de substrat. Ces données pourraient ensuite être utilisées pour élaborer des scénarios de probabilité d'émissions de CEM pour un ensemble donné de variables environnementales et techniques. Les données sur les CEM directement mesurées et ces scénarios probabilistes pourraient ensuite être intégrés à des études biologiques afin de fournir

une analyse complète de l'interaction entre les OWF et les espèces sensibles aux CEM, comme le précise la section 10.1.3. Phase 2 : études *in situ* et expérimentales

Si l'étude ou la surveillance du mésocosme de la phase 1 de la phase 2 du projet COWRIE sur les différents sites de parcs éoliens suggère que les CEM peuvent effectivement avoir des effets, il serait nécessaire de déterminer l'importance *in situ* des champs EM et iE pour les espèces sensibles aux perturbations électriques et magnétiques sur un ou plusieurs sites de parcs éoliens offshore au Royaume-Uni. Les études viseraient à répondre à la question de savoir s'il existe une réponse cohérente aux CEM au sein des populations d'espèces sensibles aux EM. Des aspects tels que les changements spatiaux et temporels dans l'occurrence et les changements d'abondance par rapport à la compréhension actuelle des CEM seraient abordés. Les méthodes appliquées dépendraient dans une certaine mesure des ressources disponibles, mais il est recommandé d'effectuer des études de marquage et de suivi, en utilisant des méthodes similaires à celles décrites pour l'étude du mésocosme, afin d'évaluer le comportement spatial en temps réel. Ces études devraient être complétées par des données obtenues à partir d'enquêtes plus traditionnelles sur la pêche qui seront entreprises dans le cadre du programme de surveillance sur le site d'un parc éolien. Comme pour la surveillance d'un parc éolien individuel, tout projet entrepris doit quantifier les champs iE et B au cours de l'étude.

Des recherches supplémentaires seront également nécessaires pour quantifier l'utilisation de l'habitat par les différents stades de vie des espèces sensibles aux EM. Une combinaison d'enquêtes sur le terrain (comme suggéré ci-dessus) et d'études expérimentales ciblées devrait viser à déterminer comment et pourquoi les espèces sont attirées ou évitent des emplacements particuliers de parcs éoliens ou les CEM associés à des configurations de câbles spécifiques aux parcs éoliens à n'importe quel stade du cycle de vie ou à des moments spécifiques de la journée/année. Ces données seraient utiles pour la localisation future du site, les itinéraires et la configuration de la pose des câbles et le calendrier d'installation et d'exploitation. En outre, il est possible qu'il y ait une sensibilité différentielle avec le stade ontogénétique, en particulier dans les zones de pépinière peu profondes où les câbles électriques sont susceptibles de se croiser ou d'être enterrés. Il serait donc important de relier les études des stades de vie les plus sensibles aux études basées sur la population. Ces études devraient également viser à prendre en compte la variabilité de la réponse des différentes espèces pour aider à déterminer les espèces les plus affectées (soit positivement, soit négativement) et essayer de déterminer si les espèces peuvent s'habituer aux CEM. Les études d'habituation aideront grandement à interpréter les changements au niveau des populations.

Remarque importante : les études expérimentales peuvent nécessiter une autorisation du ministère de l'intérieur britannique.

11 Surveillance sur les sites des parcs éoliens

11.1 Introduction

Les exigences en matière de surveillance environnementale pour les parcs éoliens offshore autorisés sont déterminées par les conditions de licence de la FEPA (Food and Environment Protection Act 1985). La licence FEPA énonce généralement les grands principes de la surveillance, mais laisse les détails de cette surveillance ouverts aux discussions entre le développeur (et ses consultants scientifiques) et les organismes statutaires (English Nature ; Countryside Council for Wales et CEFAS). Ce qui suit, par exemple, est un extrait de la licence FEPA pour le parc éolien offshore de Barrow (licence FEPA numéro 31744/03/3). Des paragraphes équivalents se trouvent dans les licences FEPA pour la plupart des parcs éoliens offshore autorisés (annexe 12 licences FEPA) :

Le titulaire de la licence doit fournir à l'autorité de délivrance des licences des informations sur l'atténuation des champs associés aux câbles, au blindage et à l'enfouissement décrits dans la déclaration de méthode et liés aux données des études du parc éolien de Rødsand au Danemark et aux résultats des études du COWRIE au Royaume-Uni. Il s'agit de garantir que le blindage des câbles et la ou les profondeurs d'enfouissement, tant entre les éoliennes

que le long du parcours des câbles jusqu'au rivage, étant donné le ou les types de sédiments du site de Barrow, sont suffisants pour que le champ électromagnétique généré soit négligeable. Si cette étude devait montrer que les intensités de champ associées aux câbles sont suffisantes pour avoir un effet potentiellement nuisible sur les espèces électrosensibles, une surveillance biologique plus poussée que celle décrite au point 7 de la présente annexe pourrait être nécessaire pour approfondir l'étude de l'effet.

Bien qu'il soit maintenant établi, suite à la phase 1 de l'étude COWRIE (CMACS 2003), que l'enfouissement des câbles ne permet pas d'atténuer suffisamment les effets des champs électromagnétiques, il n'est toujours pas clair si les champs magnétiques ou électriques induits par les câbles sous-marins standard de l'industrie ont des impacts significatifs sur les espèces potentiellement sensibles. L'approche que nous suggérons pour la poursuite des recherches en collaboration est décrite à la section 10.1.

Dans cette section, nous examinons la surveillance qui serait appropriée pour des parcs éoliens individuels. Nous nous sommes efforcés de suggérer une surveillance qui conviendrait à la fois aux parcs éoliens autorisés, au cas où une surveillance supplémentaire serait invoquée, et aux parcs éoliens prévus, au cas où il serait décidé que les futures conditions d'autorisation de la FEPA spécifieraient purement et simplement une telle surveillance.

Il convient de noter que la surveillance existante s'est concentrée sur les espèces sensibles à l'électricité et les élasmobranches en particulier. Nous avons examiné les espèces magnétiquement sensibles au point 11.3.3 et nous fournissons des orientations sur la surveillance appropriée au point 11.4.

11.2 Suivi existant

Parmi les parcs éoliens actuellement autorisés et/ou construits, nous avons obtenu des informations sur la surveillance en rapport avec l'étude des effets des champs électromagnétiques et électriques pour 3 parcs éoliens : North Hoyle, Robin Rigg et Lynn & Inner Dowsing (ce dernier étant considéré dans le cadre d'un programme de surveillance unique). Tous les programmes de surveillance sont axés sur les espèces électrosensibles, même si les programmes sont généralement appelés "surveillance des CEM".

Les données de *North Hoyle Limited* sur les populations de poissons sont disponibles à partir d'enquêtes annuelles utilisant des chaluts à perche scientifiques de 2 m. Ces chaluts ciblent généralement les invertébrés benthiques, mais certains élasmobranches (diverses espèces de raies) sont généralement capturés. La principale surveillance des poissons et des pêches utilise les données provenant des pêches de routine du CEFAS et des consultations avec les pêcheurs commerciaux locaux. Les études du CEFAS utilisent des chaluts à perche de 4 m avec un tapis de chaîne, une corde relevable et un revêtement de cul de chalut de 40 mm pour retenir les petits poissons. Elles couvrent la côte ouest de l'Angleterre et du Pays de Galles et ont eu lieu chaque automne depuis 1988. Depuis 1993, un réseau de 34 stations a été systématiquement exploité dans l'est de la mer d'Irlande, dont une station à proximité de North Hoyle (environ 2 km à l'est). Le dernier rapport de surveillance disponible (2003-2004) couvre la période de construction ; aucune information n'est encore disponible sur la surveillance de la période d'exploitation.

Robin Rigg La construction de ce développement est prévue pour 2006. Voici un extrait du plan de surveillance des espèces de poissons électro-récepteurs soumis à l'exécutif écossais :

Pré-construction

Raisons : Pour comprendre l'abondance et la distribution des poissons électro-récepteurs à proximité du trajet du câble jusqu'au rivage avant que le câble ne soit alimenté en électricité.

Type d'enquête suggéré : Il est suggéré que les enquêtes couvrent toutes les espèces de poissons électrosensibles, mais il est reconnu que la raie épineuse est la plus importante commercialement parmi les poissons électro-réceptifs du Solway. Le type d'étude le plus approprié serait une étude utilisant un chalut à perche le long du tracé du câble.

Calendrier et fréquence : Fréquence indicative : trimestrielle pendant un an avant la mise sous tension du câble. Il peut être nécessaire d'ajuster le calendrier en fonction des saisons pour qu'il corresponde au comportement des espèces concernées.

Notez que ces enquêtes peuvent être réalisées pendant la période de construction à condition que le câble n'ait pas été mis sous tension et qu'il n'y ait pas d'activité d'empilement d'impact à proximité au moment des enquêtes.

Pendant la construction

Aucune n'est jugée nécessaire, car une seule saison de pré-mise en service du parc éolien devrait suffire.

Notez que des études "pré-construction" peuvent être effectuées pendant la construction à condition que le câble n'ait pas été mis sous tension et qu'il n'y ait pas d'activité d'empilement d'impact à proximité au moment des études.

Après la construction

Raisons : Pour permettre tout changement dans l'abondance/la distribution des poissons électro-récepteurs après l'alimentation du câble.

Type d'enquête suggéré : Comme pour la pré-construction. L'impact potentiel des changements dans l'approvisionnement alimentaire benthique dû à l'installation de câbles doit être pris en compte dans la méthodologie détaillée. *Calendrier et fréquence* : Il peut être nécessaire de modifier le calendrier en fonction des saisons pour qu'il corresponde au comportement des espèces concernées. Fréquence indicative : trimestrielle pendant un an après que le parc éolien soit pleinement opérationnel, en supposant que la communauté benthique se soit rétablie".

Lynn & Inner Dowsing Une étude de base sur les poissons a été décidée, dont les résultats serviront de base à la surveillance future. Les détails fournis par le développeur sont les suivants :

L'objectif de l'étude sur la pêche est de recueillir des informations de base sur les communautés locales de poissons, avec lesquelles les données recueillies après la construction des parcs éoliens de Lynn et Inner Dowsing peuvent être comparées. Les données seront recueillies à l'aide de méthodes scientifiques pour évaluer la diversité des espèces, les effectifs présents et la structure des communautés. Les données seront également collectées à l'aide de méthodes commerciales pour saisir les données relatives aux espèces commercialement viables.

Un programme général de pêche a été élaboré en consultation avec les pêcheurs locaux et les organisations de pêche. Le programme comprendra des études utilisant à la fois des méthodes scientifiques standard (chalut à perche de 2 m avec un cul de chalut de 4 mm) et des méthodes de pêche commerciale plus traditionnelles : chaluts à panneaux, chaluts à crevettes, dragues à moules, palangres et casiers. La pêche scientifique fournira des données sur la diversité des espèces et la structure des communautés de manière quantitative et reproductible, tandis que les méthodes de pêche commerciale fourniront des données sur des espèces et groupes d'espèces spécifiques commercialement viables, présents avant et après la construction des parcs éoliens. Les groupes cibles commerciaux comprennent le crabe, le homard, le cabillaud, la sole, le tourteau, le merlan, la barbue, les crevettes brunes et roses et les moules.

Les relevés commerciaux seront effectués de manière scientifique, c'est-à-dire que le même effort sera appliqué à tous les relevés effectués dans la zone d'étude, pour chaque type d'engin commercial utilisé. Des enquêtes répétées au cours des années et entre les années peuvent être effectuées aux mêmes endroits que ceux utilisés lors des enquêtes de base initiales et des "captures par unité d'effort" (CPUE) indicatives seront calculées chaque fois qu'un nombre suffisant d'individus d'une espèce est capturé. Bien que les CPUE des enquêtes trimestrielles aient peu de valeur pour déterminer la taille de la population, elles sont susceptibles de donner une indication des changements relatifs de la taille de la population/utilisation d'une zone par une espèce au fil du temps.

Le programme suivant a été convenu :

Chalutage par faisceau scientifique (faisceau scientifique standard de 2 m) :

- 4 enquêtes trimestrielles sur une période d'un an
- 11 stations d'échantillonnage dans les parcs éoliens de Lynn et de Dowsing, 2 dans chaque parc éolien, 2 sur le parcours du câble et un certain nombre de contrôles.
- 3 enquêtes répétées sont menées dans chacune des 11 stations d'échantillonnage
- Tous les poissons mesurés et les espèces électro-sensibles sont sexuels

Chaluts à panneaux commerciaux (15 m de large) :

- 4 enquêtes trimestrielles sur une période d'un an
- 11 stations d'échantillonnage dans les parcs éoliens de Lynn et de Dowsing (en utilisant les mêmes stations d'échantillonnage que celles utilisées pour le chalutage scientifique par faisceaux) ; 2 dans chaque parc éolien, 2 dans le tracé du câble et un certain nombre de contrôles.
- Un seul remorquage de 30 minutes effectué dans chacune des 11 stations d'échantillonnage
- Tous les poissons mesurés et les espèces électro-sensibles sont sexuels

Mise en pot commerciale (pots standard) :

- 6 enquêtes entreprises sur une période d'un an, avec une fréquence et un calendrier des enquêtes élaborés en consultation avec les pêcheurs locaux pour inclure les périodes où les pêcheurs seraient à la recherche des espèces cibles.
- Chacune des 6 enquêtes comprend une période de 5 jours ; les pots sont posés le premier jour, laissés à tremper pendant 3 jours et récupérés le cinquième jour.
- Un biologiste accompagne les pêcheurs le 5^e jour pour identifier les prises, mesurer la longueur de la carapace et le sexe des individus.
- Dix stations d'échantillonnage seront étudiées pour le crabe et le homard. Chaque station d'échantillonnage sera échantillonnée par une série de 20 casiers totalisant 200 casiers dans toute la zone d'étude.
- Les pots sont appâtés avec du scad (*Trachurus trachurus*)

Enquêtes sur les crevettes commerciales :

- 12 sites seront étudiés sur une période de 2 jours à 6 reprises sur une période d'un an. Cela comprend les stations d'échantillonnage au sein de chaque parc éolien, le tracé du câble et les contrôles.
- Deux (2) chaluts à perche commerciaux de 10 mètres seront déployés et remorqués avec le courant pendant une période de 10 minutes en temps de fond ;
- Les deux chaluts à perche de 10 mètres seront remorqués à une distance d'environ 10 à 15 mètres l'un de l'autre ;
- Un biologiste accompagnera le navire de pêche pour identifier et dénombrer les crevettes capturées ;
- Une moyenne sera calculée pour les deux pseudo-répliques ;
- Des données biométriques seront collectées pour un nombre représentatif de crevettes dans chaque capture
- (classes de taille commerciale pour les crevettes A, B, C ou D)
- Une liste d'espèces pour les prises accessoires sera établie (et toutes les espèces électro-sensibles sont identifiées, mesurées et sexuelles)

Enquêtes commerciales sur les lignes à grande distance :

- 11 sites seront étudiés sur une période de deux jours à six reprises entre octobre 2004 et mars 2005, à raison d'une enquête par mois. Les stations d'échantillonnage sont situées à l'intérieur des parcs éoliens, du tracé des câbles et d'un certain nombre de contrôles.
- 100 hameçons seront déployés par ligne de pêche ;
- Les lignes seront travaillées sur la marée pendant la journée
- L'emplacement de l'extrémité de la ligne à terre sera enregistré
- Le pêcheur enregistrera le nombre de chaque espèce capturée par ligne

Études sur le dragage commercial des moules :
On prévoit qu'il y aura 6 enquêtes de 2 jours par enquête sur 10 à 12 lieux d'échantillonnage.

Les programmes de surveillance existants (North Hoyle) ou prévus (Robin Rigg/Lynn & Inner Dowsing) susmentionnés visent tous à surveiller les espèces d'intérêt d'une manière objective et scientifique. Le programme Lynn & Inner Dowsing est particulièrement et fera largement appel aux capacités des navires de pêche commerciale locaux pour assurer la surveillance du parc éolien.

Tous les programmes s'appuient plus ou moins sur les chaluts à perche. Les avantages et inconvénients potentiels de cette méthode sont examinés plus en détail au point 11.3 ci-dessous.

Aucun des programmes ne prend spécifiquement en compte les espèces magnétiquement sensibles et il existe une forte polarisation sur les élasmobranches, et en particulier les rayons, en termes d'espèces sensibles à l'électricité. Ce biais en faveur des élasmobranches est compréhensible et, dans une certaine mesure, justifié compte tenu de l'importance commerciale et de conservation de nombreuses espèces de ce groupe. Il existe d'autres groupes et espèces qui devraient être pris en considération et qui pourraient être utilement étudiés assez facilement, notamment la plie, l'aiguillat et les crustacés (crevettes, crevettes roses, crabes et homards). Les méthodes d'enquête appropriées sont examinées dans les sections suivantes.

11.3 Méthodes d'étude possibles pour les espèces sensibles à l'électricité et au magnétisme

Dans la section suivante, nous nous efforçons de donner un aperçu des méthodes d'enquête possibles pour une série d'espèces sensibles aux perturbations électriques et magnétiques, avant de donner des orientations générales sur les enquêtes de surveillance à la section 11.4.

Nous avons concentré l'examen sur les espèces sensibles aux champs électriques et magnétiques qui sont susceptibles d'être les plus intéressantes pour la surveillance et qui offrent la meilleure possibilité d'obtenir des résultats concluants, c'est-à-dire les espèces présentes en nombre raisonnable dans les zones de développement des parcs éoliens. Parmi les espèces électriquement sensibles, nous avons sélectionné des élasmobranches, en particulier l'aiguillat commun et la raie épineuse, ainsi que l'anguille européenne (toutes les espèces sont également sensibles au magnétisme). Parmi les espèces magnétiquement sensibles, nous avons envisagé des méthodes appropriées pour les salmonidés, les plies et les crustacés (les salmonidés et les plies sont également potentiellement sensibles à l'électricité).

Les méthodes d'enquête pour les espèces moins communes (mais potentiellement importantes) telles que les tortues, le requin pèlerin, etc. sont brièvement passées en revue dans le tableau 6, qui fournit également un résumé de toutes les méthodes envisagées.

11.3.1 Espèces sensibles à l'électricité

Les raies et les requins ne sont pas des poissons commercialement ciblés, à l'exception d'une pêche au filet emmêlant dans le sud-est de l'Angleterre, mais ils constituent une prise importante par les chaluts à perche, les chaluts à panneaux et les palangres. Par conséquent, aucun équipement de pêche spécifique pour la capture des élasmobranches n'a été mis au point et les méthodes d'échantillonnage potentielles présentent divers avantages et inconvénients, comme indiqué ci-dessous.

Les raies et les requins sont relativement résistants à la technique de pêche utilisée pour les capturer et peuvent survivre au fait d'être tirés du fond de la mer et débarqués sur un bateau, à condition d'être relâchés en quelques minutes. Les populations de grandes raies (de taille commerciale) peuvent être surveillées en examinant les débarquements au port et en demandant aux pêcheurs où les raies ont été capturées et combien ont été relâchées en mer. Une telle approche ne fournira pas de données détaillées spécifiques à un site mais pourra fournir des

informations utiles pour d'autres enquêtes. Un inconvénient majeur, cependant, est que la pêche commerciale est très limitée dans les réseaux de parcs éoliens en mer.

Les chaluts à perche scientifiques standard (2 m) cibleront efficacement les raies et les aiguillats juvéniles, mais ne prélèveront pas les plus gros individus avec une quelconque efficacité car beaucoup sont capables d'échapper à la capture. Un chalut à perche de 4 m serait plus approprié lorsque les raies et les pocheteaux matures sont les espèces d'intérêt.

Sur certains sites, un chalut GOV (Grande Overture Verticale- un chalut démersal à grande hauteur et à large ouverture de 16 à 18 m) peut être une technique de surveillance appropriée en remplacement du chalut à perche. Il est utilisé par le CEFAS pour les études de routine sur les poissons de fond (par exemple, en mer d'Irlande) et permet de capturer des raies adultes en plus d'une capacité limitée à capturer les espèces pélagiques présentes près du fond marin au moment de l'étude (par exemple, le maquereau) ; il présente toutefois des inconvénients similaires à ceux des chaluts à perche scientifiques et commerciaux standard (cf. tableau 6). La spécification GOV est définie par le CIEM et est utilisée dans les campagnes de prospection dans l'ouest de l'Écosse et l'est de la Manche, et a récemment été adoptée comme chalut principal pour les campagnes de prospection en mer d'Irlande et en mer Celtique. Un inconvénient évident est la taille supplémentaire et le manque de manœuvrabilité qui en résulte dans et autour des parcs éoliens, ainsi que les dommages accrus aux habitats des fonds marins. Toutefois, une telle approche peut convenir à la surveillance le long des câbles menant au rivage si les raies et les raies adultes présentent un intérêt.

D'autres espèces électriquement sensibles (anguilles, salmonidés et plies) qui peuvent être présentes autour des sites de parcs éoliens offshore peuvent nécessiter des méthodes d'étude différentes. Alors que les chaluts à perche de 2 ou 4 mètres peuvent convenir pour la plie, les salmonidés et les anguilles présentent une proposition différente. En général, il est difficile d'envisager comment les espèces migratrices qui ne font que traverser une zone de parc éolien ou un tracé de câble pourraient être surveillées efficacement dans les environnements offshore. Il peut y avoir des possibilités lorsque les câbles électriques vers la côte traversent des routes migratoires connues proches de la côte pour installer des pièges à poissons pour les salmonidés ou les anguilles (cf. Hvidt *et al.* 2003) ; cependant, les possibilités de ce type d'étude au Royaume-Uni sont très limitées et les parcs éoliens offshore Robin Rigg et Teeside sont probablement les seuls sites du Royaume-Uni où une telle étude pourrait être envisagée.

Il existe un certain nombre d'autres techniques de surveillance potentielles, dont certaines présentent des avantages par rapport aux chaluts à perche, notamment parce qu'elles sont non destructrices. Elles sont examinées dans le tableau 6 ci-dessous ; toutefois, il est utile de commenter plus en détail les techniques non destructives.

Les enquêtes par vidéo remorquée, par plongeur et par vidéo appâtée offrent toutes la possibilité d'enquêter sur les populations d'espèces cibles sans dommage (ou, dans le cas de la vidéo remorquée, très peu) pour l'habitat des fonds marins ou les espèces cibles.

Les levés vidéo remorqués présentent un inconvénient fondamental : la largeur limitée des transects de levé, associée à la visibilité médiocre (voire négligeable) à laquelle on peut s'attendre sur de nombreux sites côtiers, signifie qu'un effort de levé très important serait nécessaire pour obtenir des données significatives. Il est peu probable que les espèces puissent être identifiées avec certitude et les individus ne peuvent certainement pas être sexés. La vidéo remorquée peut être

capable de distinguer si les câbles électriques sous-marins ont un effet d'agrégation important sur les espèces cibles, mais qui, autrement, ne seraient probablement pas d'une utilité pratique.

Les relevés par plongeur présentent les mêmes inconvénients que les relevés par vidéo remorquée, dans la mesure où il faudrait déployer des efforts intensifs pour obtenir des données suffisantes. Il y a également la complication supplémentaire de travailler autour de fenêtres de marée limitées sur la plupart des sites. Là encore, les relevés par plongeur ne pourraient détecter que les effets d'agrégation bruts des câbles ou, peut-être, les réactions des animaux individuels aux champs E.

La vidéo appâtée est une technique éprouvée dans certains habitats, notamment les récifs et autres zones de grande visibilité. Elle est moins couramment appliquée dans les sites côtiers peu profonds du Royaume-Uni où sont construits des parcs éoliens. Nous ne connaissons pas l'efficacité de cette technique pour des espèces telles que les raies, les roussettes, les crabes et les plies ; cependant, à condition de choisir un appât approprié, elle peut être efficace. Il serait très important d'établir des contrôles appropriés à l'écart des câbles, car on ne sait pas si la présence d'appâts (et d'indices olfactifs) peut l'emporter sur les effets du champ E. Il peut être utile d'étudier la vidéo appâtée dans les situations où le chalutage par faisceau n'est pas possible.

11.3.2 Espèces magnétiquement sensibles

Les méthodes pour les salmonidés et la plie ont déjà été examinées au point 11.3.1. Les crustacés, en particulier le homard, le crabe, les crevettes et les crevettes roses, peuvent présenter un intérêt pour certains sites de parcs éoliens. Les crevettes et les crevettes roses peuvent être échantillonnées par les méthodes de chalutage à perche déjà mentionnées. Le crabe et le homard³ peuvent facilement être étudiés par échantillonnage dans des pots ; toutefois, l'approche vidéo avec appâts, dont il a été question plus haut, présente des inconvénients similaires, dans la mesure où il peut être difficile de différencier les effets du champ B des signaux olfactifs résultant des appâts dans les pots.

Les pots sont également susceptibles de contenir des aiguillats qui doivent être comptés, mesurés et sexés s'ils sont présents.

Les crevettes et les langoustines seront également capturées dans des casiers ; cependant, le crabe et la langouste les précéderont dans les casiers et il pourrait donc être difficile de générer des données fiables sur ces groupes.

³ bien que le homard ne soit pas une espèce importante avant la construction du parc éolien (en raison de la nature non rocheuse de l'habitat des fonds marins), il peut devenir important une fois que les monopiles et la protection contre l'affouillement qui y est associée sont présents.

Tableau 6. Avantages et inconvénients de diverses méthodes d'échantillonnage pour les espèces sensibles aux perturbations électriques et magnétiques.

Méthode	Avantages	Inconvénients
<i>Méthodes génériques</i>		
Chalut à perche	Les animaux peuvent être relâchés vivants. Faible effort. Des individus de toutes tailles sont capturés. Semi-quantitatif La taille des mailles peut être ajustée en fonction des espèces cibles	Un navire dédié est nécessaire. Ne convient pas sur un terrain rocheux / près d'obstacles sous-marins. Ne cible pas les rayons qui peuvent facilement échapper aux chaluts plus lents (en particulier les petits chaluts scientifiques de 2 m). Dommages aux fonds marins. Prises accessoires élevées. Hauteur de la manchette basse et fixe.
Chalut GOV	Comme chalut à perche Plus les échantillons de certaines espèces démersales et la grande taille, les captures sont plus élevées	Comme chalut à perche Une taille plus grande signifie plus de dommages aux fonds marins et moins de manœuvres autour des parcs éoliens
Chalut à panneaux	Les animaux peuvent être relâchés vivants. Faible effort. Des individus de toutes tailles sont capturés. Semi-quantitatif Hauteur variable du titre La taille des mailles peut être ajustée en fonction des espèces cibles	Un navire dédié est nécessaire. Ne convient pas sur un terrain rocheux / près d'obstacles sous-marins. Dommages aux fonds marins. Prises accessoires élevées.
Filets maillants et filets emmêlants	Peut être déployé n'importe où dans un courant de marée. Faible effort. Semi-quantitatif	Prises accessoires élevées. Les animaux sont généralement élevés morts. Ne prélève que des individus de grande taille. Les filets maillants ciblent des tailles et des classes d'âge spécifiques
Long-line	Peut être déployé n'importe où et équipé pour la capture de poissons benthiques/démersaux. Faible effort. N'endommage pas les fonds marins. Peut être semi-quantitatif.	Les animaux sont souvent élevés morts. Ne prélève que des échantillons de gros individus.
Pêche à la ligne	Les animaux sont généralement relâchés vivants. Faibles prises accessoires. Il peut être truqué pour cibler les requins et les raies. N'endommage pas les fonds marins.	Ne prélève que des échantillons de gros individus (en général). Effort important. Il est probable qu'il ne s'agisse que d'un produit de qualité. Les animaux pourraient être endommagés.
Vidéo appâtée	No damage to animaux ou les fonds marins.	Efficacité inconnue pour les espèces concernées. On ne sait pas très bien dans quelle mesure cette méthode serait quantitative. La conception doit garantir que la présence d'appâts ne masque pas les effets du champ B/E.

Tagging	Haute résolution spatiale des mouvements des poissons et (potentiellement) réponse directionnelle aux câbles. Données quantitatives obtenues. Les espèces cibles peuvent être évaluées.	Les animaux doivent être capturés en premier lieu par la pêche à la ligne ou au chalut. Un effort très important et coûteux. Seulement possible de marquer les gros individus.
Pièges et pots	Probablement efficace pour les roussettes et les crustacés (crabes et homards) si des casiers à homards appâtés standard sont utilisés. Un positionnement précis des pots par rapport aux câbles est possible. Les animaux peuvent être rendus vivants	Non efficace pour les raies ou autres espèces d'intérêt (par exemple, la plie, les salmonidés). La présence d'appâts pourrait masquer les effets des champs électriques.

Méthode	Avantages	Inconvénients
<i>Autres enquêtes spécialisées</i>		
Cetacea		
Enquêtes sur les bateaux	Peut couvrir une large zone Aucune intrusion	C'est une question de temps Des informations limitées dans le temps et dans l'espace
Avion de repérage	Peut couvrir une large zone Aucune intrusion	Coûteux Informations limitées dans le temps
Enquêtes photographiques	Identifier les personnes Donner des informations au niveau de la population Informations spatiales dans le temps	Très long à mettre en œuvre Nécessite plusieurs années de données pour fournir des informations utiles sur la répartition de la population Impossible avec des populations de faible densité et peu susceptible de fournir des données suffisantes spécifiques au site pour évaluer un site de parc éolien.
		L'inconvénient de toutes les études sur les cétacés est que les observations seront faites à la surface lorsque les animaux ne sont pas proches des câbles. Seules des évaluations grossières sont possibles, par exemple l'évitement d'une zone de plus en plus nombreuse dans une région - très difficile à mettre en relation avec les effets de champ B/E.
Chelonia		
Tagging	Les animaux peuvent être relâchés vivants. Faible effort. Des individus de toutes tailles sont capturés. Semi-quantitatif	Un navire dédié est nécessaire. Faible nombre (Royaume-Uni)
Tagging	Haute résolution spatiale des mouvements des poissons et (potentiellement) réponse directionnelle aux câbles. Données quantitatives obtenues. Les espèces cibles peuvent être évaluées.	Les animaux doivent être capturés en premier lieu par la pêche à la ligne ou au chalut. Un effort très important et coûteux. Seulement possible de marquer les gros individus.

11.4 Lignes directrices pour le suivi

Le choix de la ou des méthodes d'enquête dépend fortement de l'objectif de l'étude, du site, de la nature du fond marin et des espèces cibles. La surveillance proposée pour Lynn & Inner Dowsing fournit un très bon exemple de la gamme d'enquêtes qui peuvent être nécessaires pour couvrir les poissons ou les assemblages de poissons d'intérêt ; cependant, il peut être approprié de surveiller des groupes ou des espèces cibles spécifiques dans d'autres parcs éoliens. Nous proposons les conseils suivants pour les études qui visent à surveiller les poissons sur les sites des parcs éoliens offshore en relation avec les champs E et B :

- Les méthodes les plus susceptibles d'être appliquées aux parcs éoliens offshore du Royaume-Uni sont les chaluts à perche de 4 m (espèces démersales adultes électrosensibles telles que la raie épineuse, l'aiguillat et la plie), les chaluts à perche de 2 ou 4 m (raies juvéniles, crevettes et crevettes roses) et les relevés de cuves (crabe et homard).
- Les méthodes ci-dessus, en particulier les chaluts à perche, devraient compléter la surveillance biologique épibenthique de routine dans la plupart des parcs éoliens, mais les emplacements des échantillons devront être soigneusement étudiés en fonction de l'infrastructure de câblage (voir ci-dessous).
- Dans les parcs éoliens individuels, il peut être nécessaire d'envisager d'autres méthodes s'il existe différentes espèces intéressantes, comme les salmonidés ou les anguilles.
- Les études doivent adopter une approche BACI (Before, After, Control and Impact). Pour les parcs éoliens, cela signifie une étude de base des sites de contrôle (de référence) et d'impact et la surveillance répétée des mêmes sites pendant la phase opérationnelle. Cela ne serait pas possible pour les parcs éoliens existants si la surveillance commençait après la construction ; dans ce cas, la comparaison des sites d'impact et de contrôle est la seule approche disponible.
- Les sites de contrôle doivent être soigneusement situés de manière à ce qu'ils représentent un habitat comparable aux sites d'impact et ne soient pas soumis à des interférences d'autres champs électriques (par exemple, d'autres câbles d'énergie ou de télécommunication). Si de telles sources se trouvent à proximité du parc éolien, leurs effets sur les CEM doivent être étudiés et compris.
- Les sites d'impact doivent être localisés avec précision de sorte que, par exemple, les chaluts le long des câbles suivent le câble aussi près que possible (ou croisent plusieurs câbles enterrés dans un réseau), ou que les pièges sous tension soient placés à des distances connues du câble. Cela nécessitera l'utilisation d'un équipement DGPS et de bonnes informations sur la position des câbles installés. La base de données SIG Geocable doit être utilisée pour obtenir les informations nécessaires pour les infrastructures autres que les parcs éoliens ; on suppose que les développeurs seront parfaitement conscients de l'emplacement exact des câbles relatifs à leur parc éolien.
- Au cours des études, des données doivent être recueillies sur l'activité de production d'électricité du parc éolien et être liées aux champs B et E modélisés ou mesurés. Les informations sur la variabilité spatiale et temporelle des champs E et B doivent ensuite être soigneusement mises en relation avec les données biologiques issues de la surveillance.
- Dans la mesure du possible, les animaux individuels capturés au cours de l'enquête doivent être mesurés et sexués. Cela devrait être simple pour les élasmobranches et aidera à identifier toute différence de comportement liée à l'âge/au sexe par rapport aux champs E et B.

12 Remerciements

Gero Vella ; Carolyn Heeps ; Cathryn Hooper ; membres du COWRIE ; tous les promoteurs de parcs éoliens offshore qui ont répondu à la consultation ; personnel de la bibliothèque de l'université de Cranfield ; cartes de la KISCA : Localisation des câbles sous-marins et informations sur les itinéraires ; Brian Perratt et Global Marine Systems.

13 Références

Adair R.K., Astumian R.D. & Weaver J.C. (1998) Detection of weak electric fields by sharks, rays, and skates, *Chaos*, 8 (3) : 576-587.

Barber, N. & Longuet-Higgins, M.S. (1948) Water movements and earth currents : electrical and magnetic effects. *Nature*, 161 : 192-193.

Bochert, R. & Zettler, M.L. (2004) Long-term exposure of several marine benthic animals to static magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 25 : 498-502.

Bodznick, D. & Boord, R.L. (1986) Electroreception in Chondrichthyes : central anatomy and physiology, In *Electroreception*, (ed. T.H. Bullock & W. Heiligenberg) : 225-256, John Wiley and Sons, New York.

Boord, R.L. & Campbell, C.B.G. (1997) Structural and functional organisation of the lateral line system of sharks. *American Zoologist*, 17 : 431-441.

Bio/consultation (2002) Effets possibles du parc éolien offshore de Vindeby sur le résultat de la pêche. SEAS Vindeby. Champs électromagnétiques et bruit. Document n° 1920-003-001-rev.2.

Brown, H.R., Andrianov, G.N. & Ilyinsky, O.B. (1974) Magnetic field perception by electroreceptors in Black Sea skates, *Nature*, 249 : 178-179.

Cameron, I.L., Hunter, K.E. & Winters, W.D. (1985) Retardation of embryogenesis by extremely low frequency 60 Hz electromagnetic fields, *Physiological chemistry and physics and medical NMR*, 17 : 135-138.

Cameron, I.L., Hardman, W.E., Winters, W.D., Zimmerman, S. & Zimmerman, A.M. (1993) Environmental magnetic fields : influences on early embryogenesis, *Journal of Cell Biochemistry*, 51 : 417-425.

CMACS (2003) *Une évaluation de base des champs électromagnétiques générés par les câbles des parcs éoliens offshore*. Rep. n° COWRIE EMF-01-2002 66. Centre d'études marines et côtières.

Gill, A. B. (2005) Offshore renewable energy - ecological implications of generating electricity in the coastal zone, *Journal of Applied Ecology*, 42 : 605-615

Gill, A.B. & Taylor, H. (2001) The potential effects of electromagnetic fields generated by cabling between offshore wind turbines on elasmobranch fishes, Countryside Council for Wales, Contract Science Report 488.

Hvidt CB, Bech M & Klausstrup M (2003) Monitoring Programme- status Report 2003. Poissons à la trace du câble. Parc éolien offshore de Nysetd à Rodsand.

CIEM (2003) <http://www.ices.dk/products/CMdocs/2003/E/E0903.PDF>

Kajiura, S.M. (2003) Electroreception in neonatal bonnethead sharks, *Sphyrna tiburo*, *Marine Biology*, 143 (3) : 603-611.

Kalmijn, A.J. (1971) The electric sense of sharks and rays, *Journal of Experimental Biology*, 55 (2) : 371-383.

Kirschvink, J.L. (1997) Magnetoreception : homing in on vertebrates, *Nature*, 390 : 339-340.

Leya, T., Rother, A., Müller, T., Fuhr, G., Gropius, M. & Watermann, B. (1999) Electromagnetic antifouling shield (EMAS) - a promising novel antifouling technique for optical systems, 10th *International Congress on Marine Corrosion and Fouling*, University of Melbourne, February 1999.

Marra, L.J. (1989) Sharkbite on the SL submarine lightwave cable system : history, causes and resolution, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 14 (3) : 230-237.

Metcalf, J.D., Holford, B.H. & Arnold, G.P. (1993) Orientation of plaice (*Pleuronectes platessa*) in the open sea - evidence for the use of external directional clues, *Marine Biology*, 117 (4) : 559-566.

Meyer, C.G., Holland, K.N. & Papastamatiou, Y.P. (2004) Sharks can detect changes in the geomagnetic field, *Journal of the Royal Society Interface*, (DOI : 10.1098/rsif.2004.0021 FirstCite) : 2pp.

Murray, R.W. (1974) The ampullae of Lorenzini, In *Electroreceptors and other specialized organs in lower vertebrates*, (ed. A. Fessard) : 125-146, Springer-Verlag, New York.

New, J.G. & Tricas, T.C. (1998) Electroreceptors and magnetoreceptors : morphology and function. Dans : *Cell Physiology Source Book* (ed. N. Sperlakis)^{2nd} ed. : 741-758, Academic Press, San Diego.

Pals, N., Valentijn, P. & Verwey, D. (1982) Orientation reactions of the dogfish, *Scyliorhinus canicula*, to local electric fields, *Netherlands Journal of Zoology*, 32 (4) : 495-512.

Paulin, M.G. (1995) Electroreception and the compass sense of sharks, *Journal of Theoretical Biology*, 174 (3) : 325-339.

Poddubny, A.G. (1967) Sonic tags and floats as a means of studying fish response to natural environmental changes to fishing gears, In *Conference on fish behaviour in relation to fishing techniques and tactics*, Bergen, Norway : 793-802, FAO, Rome.

Raschi, W. (1978) Notes on the gross functional morphology of the ampullary system in two similar species of skates, *Raja erinacea* and *R. ocellata*, *Copeia*, 1 : 48-53.

Raschi, W. (1986) A morphological analysis of the ampullae of Lorenzini in selected skates (Pisces, Rajoidei), *Journal of Morphology*, 189 (3) : 225-247.

Tricas, T.C. (2001) The neuroecology of the elasmobranch electrosensory world : Why peripheral morphology shapes behavior, *Environmental Biology of Fishes*, 60 (1-3) : 77-92.

Ugolini, A. & Pezzani, A. (1995) Magnetic compass and learning of the Y-axis (sea- land) direction in the marine isopod *Idotea baltica basteri*. *Animal Behaviour*, 50 : 295-300.

Ugolini, A. (1993) Solar and magnetic compass in equatorial sandhoppers : equinoctial experiments. Dans : *Orientation et navigation. Oiseaux, humains et autres animaux*. Oxford : The Royal Institute of navigation.

Ugolini, A. & Macchi, T. (1988). Composante apprise dans l'orientation solaire du saltator de *Talitrus Montagu* (Amphipoda, Talitridae). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 121 : 79-87.

von der Emde, G. (1998) Electroreception, In *The Physiology of Fishes*, (ed. D.H. Evans) : 313-343, CRC press.

Walker, T.I. (2001) Basslink project review of impacts of high voltage direct current sea cables and electrodes on Chondrichthyan fauna and other marine life, *Basslink Supporting Study No. 29, Marine and Freshwater Resources Institute*, No. 20 : 68pp.

Westerberg, H. (2000) Effect of HVDC cables on eel orientation, In *Technische Eingriffe in Marine Habitats* (ed. T. Merck & H. von Nordheim), : 70-76, Bundesamt für Naturschutz.

Willows, A.O.D. (1999) Orientation vers le rivage impliquant des indices géomagnétiques chez le mollusque nudibranche *Tritonia diomedea*. *Physiologie comportementale en mer et en eau douce*, 32 : 181-192.

Zakon, H.H. (1986) The electroreceptive periphery, In *Electroreception*, (ed. T.H. Bullock & W. Heiligenberg) : 103-156, John Wiley and Sons, New York.

Zimmermann, S., Zimmermann, A.M., Winters, W.D. & Cameron, I.L. (1990) Influence of 60-Hz magnetic fields on sea urchin development, *Bioelectromagnetics*, 11 : 37-45.

14 Annexes

Annexe 1 - 6 Bibliographie regroupée par catégorie de sujets : 1a)

Parcs éoliens en mer - généralités

1b) Parcs éoliens en mer - spécifique

1c) Autres sources électroniques -
général

1d) Autres sources électroniques - spécifiques

2a) Chondrichyens - électro-réception - général 2b)

Chondrichyens - électro-réception - physiologie 2c)

Chondrichyens - électro-réception - comportement 3a)

Chondrichyens - magnétoréception - général

3b) Chondrichyens - magnétoréception - physiologie 3c)

Chondrichyens - magnétoréception - comportement 4a)

Autres organismes - électro-réception - général

4b) Autres organismes - électro-réception - physiologie 4c)

Autres organismes - électro-réception - comportement 5a)

Autres organismes - magnétoréception - généralités 5b)

Autres organismes - magnétoréception - physiologie 5c)

Autres organismes - magnétoréception - comportement

6) Sources naturelles de champs électroniques

Annexe 7 Demande de consultation envoyée aux promoteurs de parcs éoliens

offshore Annexe 8. Tableaux de sensibilisation au câble KIS-CA.

Annexe 9. CEFAS Données de pêche pour les espèces de

raies Annexe 10. Rapport de EConnect Ltd.

Annexe 11. Questions et réponses concernant le rapport COWRIE-EMF-01-2002 "A Baseline study of electromagnetic fields generated by offshore windfarm cables.

Annexe 12 Conditions de licence de la FEPA pour les parcs éoliens offshore du Royaume-Uni concernant les poissons et les champs électromagnétiques/électriques

Annexe 1a) Parcs éoliens en mer - généralités

Centre for Marine and Coastal Studies (CMACS) (2003) A baseline assessment of electromagnetic fields generated by offshore wind farm cables, COWRIE-EMF-01-2002 : 71pp.

Doyle, F. (2000) The implications of offshore renewable energy to fisheries around the Irish Sea, *Séminaire sur les énergies renouvelables offshore*, Irish Sea Forum, n° 23.

Ecoserve (2000) Assessment of impact of offshore wind energy structures on the marine environment, Volumes I & II, The Marine Institute, Irlande.

Engell-Sorensen, K. (2002) Possible effects of the offshore wind farm at Vindeby on the outcome of fishing : the possible effects of electromagnetic fields and noise, Bio/consult as report prepared for SEAS, Doc. No. 1920-003-001-rev.2 : 23pp.

ETSU (2000) An assessment of the environmental effects of offshore wind farms, ministère du commerce et de l'industrie, W/35/00543/REP.

Farrier, D. (1997) Wind energy in the coastal environment - prospects for a nearshore wind farm off East Anglia, In *Marine environmental management review of 1996 and future trends* (ed. R.C. Earll) : 85-88, Kempsey, Gloucestershire, UK.

Gill, A. B. (sous presse) Offshore renewable energy - ecological implications of generating electricity in the coastal zone, *Journal of Applied Ecology*.

Innogy Plc. (2002) Déclaration d'impact environnemental de North Hoyle, NWP Offshore Energy.

RSK Environment Ltd (2002) Barrow Offshore Wind Farm Environmental Impact Statement, Warwick Energy.

Russell, A. (2002) Appraisal of the impact assessment procedure for offshore wind farm development and the potential role of GIS as a strategic planning tool, Thèse non publiée, Université de Liverpool.

US Army Corps of Engineers (2004) Electrical and magnetic fields, *Cape Wind Energy Project Draft Environmental Impact Statement* : 5-238 à 5-250, Cape Wind Associates, district de la Nouvelle-Angleterre.

Warneke, R.M. (2001) Marine Mammals in Bass Strait, with reference to the Basslink Project, Prepared for NSR Environmental Consultants Pty Ltd : 32pp, Warneke Marine Mammal Services, Tasmania, Australia.

Annexe 1b) Parcs éoliens en mer - spécifique

Dolman, S.J., Simmonds, M.P. & Keith, S. (2003) Marine wind farms and cetaceans, A WDCS *Science Report*, Whale and Dolphin Conservation Society.

Gill, A.B. & Taylor, H. (2001) The potential effects of electromagnetic fields generated by cabling between offshore wind turbines on elasmobranch fishes, Countryside Council for Wales, Contract Science Report 488.

Hoffman, E., Astrup, J., Larsen, F., Munch-Petersen, S. & Strottrup, J. (2000) Effects of marine wind farms on the distribution of fish, shellfish and marine mammals in the Horns Rev area, Danish Institute for Fisheries Research : 42pp.